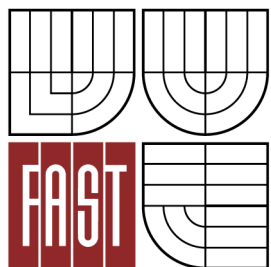




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT
A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

PŘÍPRAVA VYSOKOHODNOTNÉHO SÁDROVÉHO POJIVA

PREPARATION OF HIGH-VALUEABLE GYPSUM BINDER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. IVETA HÁJKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MARCELA FRIDRICHOVÁ, CSc.

BRNO 2012

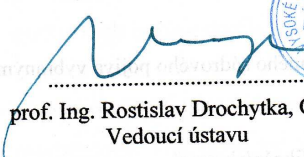


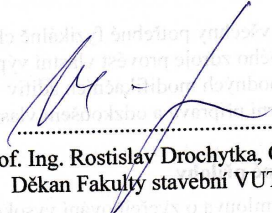
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. Hájková Iveta
Název Příprava vysokohodnotného sádrového pojiva
Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.
Datum zadání diplomové práce 31. 3. 2011
Datum odevzdání diplomové práce 13. 1. 2012
V Brně dne 31. 3. 2011


prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Vedoucí ústavu


prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT



Podklady a literatura

Dílčí zpráva záměru VVZ MSM 0021630511 - DT1

Sborník konference Maltoviny 2010

NOVÁK, J.; FRIDRICHOVÁ, M. Modifikace sádry zpomalovací přísadou. In sborník. Brno, CERM. 2002. p. 143 - 146. ISBN 80-214-2251-3.

FRIDRICHOVÁ, M., KULÍSEK, K., NOVÁK, J., DVOŘÁKOVÁ, V. Modifikace vlastností energosádry. In Silchem 2001. Ústí nad Labem, Silchem s.r.o. 2001. p. 73 - 79. ISBN 80-238-7851-4.

DUDA, H., W., Cement Data-book, Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin, 1975

HLAVÁČ, J., Základy technologie silikátů, 1. vydání. Praha: SNTL, 1981.

VAVŘÍN, F., Maltoviny, 3. vydání. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1987.

ŠAUMAN, Z., Maltoviny I, VUT v Brně, 1993

LACH, V., DAŇKOVÁ, M., Mikrostruktura stavebních látek, 2. vydání, VUT Brno, ISBN 80-214-0309-8.

Zásady pro vypracování

V rámci práce bude řešena problematika přípravy vysokohodnotného sádrového pojiva.

Především se bude jednat o sledování dosahovaných technologických vlastností a průběhu hydratačního procesu z připraveného sádrového pojiva a vybraných aditiv.

I. Teoretická část

Provést rešerši průzkumu stávajících surovinových zdrojů, používaných výrobních technologií a vlastností síranových pojiv.

II. Experimentální část

- vyhledání vhodných surovinových zdrojů, zaměřit se převážně na sekundární surovinové zdroje
- stanovit všechny potřebné fyzikálně chemické a fyzikálně mechanické parametry sádrovců
- z vybraného zdroje provést vlastní výpal sádry
- výběr vhodných modifikačních aditiv
- laboratorní příprava a odzkoušení vlastností modifikovaného sádrového pojiva vybranými aditivami

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na problematiku přípravy vysokohodnotných síranových pojiv na bázi odpadních sádrovců.

Jedním z potenciálních surovinových zdrojů na Moravě je chemický sádrovec Pregips, produkováný společností Precheza. Jedná se o surovinu, která se vyznačuje vysokou čistotou, velkou kvalitou a je ekonomicky přijatelná. Vypálenou beta sádru z tohoto sádrovce, je však potřeba modifikovat z důvodu potlačení vysoké potřeby záměsové vody, jež je dána její morfologií. Potřeba záměsové vody má velký dopad na pevnosti sádrových pojiv. Proto je potřeba najít vhodnou přísadu, která by vedla ke snížení vodního součinitele při přípravě kaše normální konzistence.

Klíčová slova

Sádrovec, kalcinace, rotační sušárna, beta sádry, plastifikátor

Abstrakt

This work is oriented on the preparation of high-valuable sulphate binder based on gypsum waste.

One of the potential mineral resources in Moravia is Pregips chemical gypsum, produced by Precheza. This is the raw material, which is characterized by high purity, high quality and is economically acceptable.

Beta burned gypsum plaster from this, however, need to modify due to suppression of the high needs of water mixing, which is determined by its morphology. The need for mixing water has a large impact on the strength of gypsum binders. Therefore it is necessary to find a suitable additive, which would reduce the coefficient of water in the preparation of porridge normal consistency.

Keywords

Gypsum, calcination, rotary dryer, beta plaster, plasticiser

Bibliografická citace VŠKP

HÁJKOVÁ, Iveta. *Příprava vysokohodnotného sádrového pojiva*. Brno, 2011. 89 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně, a že jsem uvedl(a) všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne . .2012

.....

podpis autora

Poděkování:

Na tomto místě chci poděkovat zejména paní prof. Ing. Marcele Fridrichové, CSc., za odborné a pedagogické vedení, dále pak Ing Janě Stachové a Ing Dominiku Gazdičovi PhD. a všem zaměstnancům z ÚTHD FAST VUT Brno, kteří mi v průběhu diplomové práce pomáhali.

Obsah

Úvod.....	8
I. Teoretická část.....	9
1. Sádra.....	9
2. Druhy sádrových maltovin.....	9
2.1 Rychle tuhnoucí sádra	10
2.2 Anhydritové maltoviny	11
2.3 Pomalu tuhnoucí sádra.....	12
3. Suroviny.....	12
3.1 Přírodní sádrovec	12
3.2 Uměle vzniklé sádrovce	13
3.2.1 Energosádrovec.....	13
3.2.2 Chemosádrovec	15
3.2.3 Ostatní druhy průmyslových sádrovců	18
4. Výroba síranových pojiv	19
4.1 Výroba β $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	19
4.2 Výroba α $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	22
5. Možnosti výroby rychle tuhnoucí sádry	24
6. Vlastnosti sádry	25
7. Procesy probíhající při tuhnutí a tvrdnutí sádry	27
8. Chemické přípravky ovlivňující vlastnosti sádry	30
9. Použití rychle tuhnoucí sádry ve stavebnictví v 70. letech	31
10. Použití rychle tuhnoucí sádry ve stavebnictví v současnosti..	35
10.1 Sádrokartonové konstrukce	35
10.1.1 Sádrokartonové desky	36
10.1.2 Technologie výroby sádrokartonových desek	36
10.1.3 Výhody použití sádrokartonových desek na podlahy ..	36
10.1.4 Sádrokartonové podhledy a stropy	37
10.1.5 Druhy a označení sádrokartonu	37
10.1.6 Doprava a skladování	38
10.1.7 Druhy konstrukcí ze sádrokartonu	38
10.2 Sádrovláknité konstrukce	39
10.2.1 Sádrovláknité desky	39
10.2.2 Technologie výroby sádrovláknitých desek	39
10.2.3 Vlastnosti sádrovláknitých desek	40
10.2.4 Použití sádrovláknitých desek	40
10.3 Srovnání sádrokartonových a sádrovláknitých desek.....	40
II. Experimentální část.....	41
Cíl práce.....	41
1. Metodika práce	41
1.1 Stávající tuzemské surovinové zdroje.....	41
1.2 Příprava a modifikace vlastností beta sádry	41
2. Postup práce	42
2.1 Stávající tuzemské surovinové zdroje	42
2.2 Příprava a modifikace vlastností beta sádry	43
3. Použité suroviny.....	44
3.1 Chemosádrovec Pregips	44
3.2 Citran sodný	45

3.3 Beta sádra	45
3.4 Plastifikátor Sika	45
3.5 Plastifikátor Melment F10.....	45
3.6 Plastifikátor Chryso Fluid GT	46
3.7 Plastifikátor Biotech	46
3.8 Plastifikátor Stachement 6358	46
3.9 Plastifikátor Sika ViscoCrete 1035.....	46
3.10 Plastifikátor Sikament Multimix-100	47
3.11 Plastifikátor Stacheplast	47
4. Použité přístroje a vybavení.....	47
5. Vyhodnocení zkoušek	49
5.1 Stávající tuzemské surovinové zdroje	49
5.1.1 Sádrovec přírodní	49
5.1.2 Sádrovce průmyslové	49
5.1.2.1 Zdroje energosádrovce	49
5.1.2.2 Zdroje chemosádrovce	52
5.1.3 Vlastnosti vybraného sádrovce	53
5.2 Příprava a modifikace beta sádry	55
5.2.1 Příprava beta sádry	55
5.2.1.1 Laboratorní příprava beta sádry	55
5.2.1.2 Poloprovozní výroba beta sádry	59
5.2.2 Modifikace vlastností beta sádry	63
5.2.2.1 Plastifikátor Sika	63
5.2.2.2 Plastifikátor Melment F10	65
5.2.2.3 Plastifikátor Chryso Fluid GT	67
5.2.2.4 Plastifikátor Biotech	69
5.2.2.5 Plastifikátor Stachement 6358	72
5.2.2.6 Plastifikátor Sika ViscoCrete 1035	75
5.2.2.7 Plastifikátor Sikament Multimix-100	77
5.2.2.8 Plastifikátor Stacheplast	80
6. Diskuze výsledků	82
<i>Závěr</i>	<i>85</i>
Použitá literatura	86
Seznam tabulek	87
Seznam obrázků	88

Úvod

V současné době je velmi vzrůstající tendence ve všech odvětvích průmyslu, zejména pak ve stavebním průmyslu, nahrazovat vyčerpatelné přírodní surovinové zdroje sekundárními z důvodu ekonomického, ale zároveň i ekologického.

Cílem této práce bylo provést rešerši průzkumu stávajících surovinových zdrojů, používaných výrobních technologií a vlastností síranových pojiv. Dále pak se zaměřit na vyhledání vhodného druhotného surovinového zdroje pro výrobu vysokohodnotného síranového pojiva. Stanovit u něj všechny potřebné fyzikálně chemické a fyzikálně mechanické parametry. Z vybraného zdroje provést samotný výpal sádry. Nalézt vhodná modifikační aditiva, pomocí kterých se modifikuje sádrové pojivo, u kterého se následně odzkouší jeho vlastnosti.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. SÁDRA

Výroba sádry byla známa již ve starověku. Později se její používání přeneslo z Egypta do Řecka a do Itálie. Odtud se její zpracování rozšířilo do dalších částí Evropy. K jejímu většímu využití však došlo až začátkem 19. století. Od té doby se její výroba v zemích s bohatými ložisky sádrovce mnohonásobila. Je to nejen proto, že sádra má mnoho dobrých vlastností, ale také proto, že se k její výrobě spotřebuje, jak pro výpal, tak mletí, relativně málo energie, což je dnes při výrobě stavebních hmot a dílců velmi důležitým faktorem. [1]

Na rozdíl od vápenců postrádá Česká republika téměř úplně zdroje čistého sádrovce. To se v historickém pohledu projevilo tím, že se zde velmi úspěšně vyvinula a rozvinula po stránce vědecko výzkumné i komerční výroba a zpracování vápenných a vápenokřemičitých pojiv, avšak výroba a použití síranových pojiv byla zcela opomíjena. S realizovanou desulfatací při energetické výrobě (odsiřování elektrárenských kouřů) a následnou produkcí energosádrovce se však vytvořil předpoklad pro vývoj, zpracování a stavební využití síranových pojiv a výrobků produkovaných na jejich bázi. Některé z nich se již staly běžnou součástí stavební praxe, další je třeba kvůli chybějícím tuzemským technologiím dosud dovážet, a v důsledku určité cenové bariéry je jejich rozšíření stále problematické. Do této skupiny náleží zvláště velmi kvalitní výrobky na bázi α -sádry. [6]

2. DRUHY SÁDROVÝCH MALTOVIN

Síranová pojiva vznikají tepelným zpracováním základní suroviny, sádrovce $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Jednotlivými druhy síranových pojiv jsou:

- rychle tuhnoucí sádra v modifikacích (α $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ a β $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)
- anhydritové maltoviny (CaSO_4 III, CaSO_4 II)
- pomalu tuhnoucí sádra

Největšími světovými producenty přírodního sádrovce jsou USA, (16 mil. tun v roce 2003), Španělsko, (12 mil. tun v roce 2003) a Irán (8,4 mil. tun v roce 2003). V České republice se v roce 2003 vytěžilo 0,1 mil. tun sádrovce. Celková světová produkce přírodního sádrovce v roce 2003 činila 96,8 mil. tun. Kromě přírodního sádrovce je zdrojem pro výrobu síranových pojiv sádrovec, který vzniká jako vedlejší produkt v různých průmyslových procesech. Jedná se zejména o energosádrovec z energetického průmyslu, chemosádrovec z procesů chemického průmyslu a regenerovaný sádrovec.

2.1 Rychle tuhnoucí sádra $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$

Rychle tuhnoucí sádra vzniká při teplotách pod 150°C dehydratací sádrovce, vyskytuje se ve dvou formách, které se neliší krystalovou strukturou, avšak vlivem odlišných podmínek vzniku mají rozdílnou velikost a tvar částic:

$\alpha \text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ – je meziproduktem při dehydrataci sádrovce na anhydrit. Vzniká v autoklávech při zahřívání na 115 až 130°C za mírného tlaku ($0,12$ – $0,13$ MPa), aby nedocházelo k tzv. rozlískování, v prostředí nasycené vodní páry. V podstatě tato modifikace vzniká v případě, že krystalová voda uniká ze sádrovce v podobě kapaliny. Částice jsou malé (10 – $20\mu\text{m}$) a nejsou porézní. Tvar krystalků může být buď automorfní, kdy vnější tvar odpovídá vnitřnímu uspořádání a nebo hypautomorfní, který vznikne při nedodržení tlaku, tvar tušíme, ale je destruovaný. Krystalky se při přípravě kaše pomalu rozpouštějí, směs pomaleji tuhne a vzniká uspořádanější mřížka dihydrátu. [2] Jedná se o „dentální sádru“ jejíž pevnosti v tlaku dosahují hodnot 30 až 40 MPa, při správném ošetření může dosahovat až 60 MPa, někdy je též nazývána jako „estrich sádra“, která má uplatnění v aplikaci na podlahy. Vyznačuje se nízkým vodním součinitelem $0,3$. [3]

$\beta \text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ – je dalším meziproduktem při dehydrataci sádrovce na anhydrit. Na rozdíl od formy $\alpha \text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ vzniká při zahřívání sádrovce za normálního tlaku při teplotě 100 až 160°C . Voda se v tomto případě uvolňuje ve formě páry, což se projeví rozlískováním a následným nakypřením, jelikož zrna mají vynikající štěpnost dle roviny 010 a velmi dobrou dle roviny 111 (tvar „otevřené knihy“). Působením vyšší teploty se krystalická voda postupně uvolňuje z krystalické mřížky, ve které dochází k přestavbě. Výsledkem je

produkt, který má porézní strukturu, velký měrný povrch a jsou pro něj typické poruchy v krystalové mřížce. Částice jsou velmi malé (1-5 μm) s drsným povrchem. [2] Tvar krystalků je xenomorfní, což znamená, že vnější ohraničení naprosto odpovídá vnitřnímu. V praxi se jedná o běžnou stavební sádku, vyznačující se nízkou pevností okolo 10 MPa s vyšším vodním součinitelem 0,5 až 0,7.

2.2 Anhydritové maltoviny

Anhydritové maltoviny vznikají při 300 až 600°C. Jejich základ tvoří $\text{CaSO}_4 \text{ II}$, jež je některými vlastnostmi podobný strusce, špatná rozpustnost, proto je nutné přidat budiče. V případě, že je připraven s nízkým vodním součinitelem, dochází k jeho pomalému tuhnutí, avšak konečné pevnosti jsou vyšší okolo 25 MPa. Tyto maltoviny jsou nejčastěji používány na samonivelační podlahy.

$\text{CaSO}_4 \text{ III}$ - vzniká dehydratací hemihydrátu ve dvou formách: $\alpha\text{-CaSO}_4 \text{ III}$ za teplot 200 až 220°C a $\beta\text{-CaSO}_4 \text{ III}$ za o něco nižších teplot 180 až 200°C. Obě formy jsou od sebe navzájem těžce odlišitelné, mají xenomorfní strukturu a jsou metastabilní, proto je nutné anhydrit III sušit pozvolna v dozrávacích silech, aby přešel na hemihydrát.

$\text{CaSO}_4 \text{ II}$ – stabilní při normální teplotě, vzniká zahříváním anhydritu III nad 200°C. Měrná hmotnost se udává 3,1 g/cm^3 , tvrdost podle Mohse 2,9-3,5. Vlastnosti se velmi podobají přírodnímu anhydritu. S vodou reaguje velmi pomalu, ale tato reakce se dá urychlit přídavkem tzv. budičů - látek, které umožňují rychlou reakci pojiva s vodou. [4] Tyto budící přísady lze rozdělit na vnější, které se přidávají k sádrovci již před výpalem a na vnitřní, které se přidávají k anhydritu při procesu mletí a homogenizace, je nevhodné je přidávat k záměsové vodě. Dále lze tyto budiče dělit na:

a) *zásadité* (portlandský cement, vápenný hydrát, vysokopecní struska), v množství do 7%

b) *síranové* (síran hlinitý, síran zinečnatý, síran draselný), dávkují se v množství do 3%

c) *směsné*

Dle stupně výpalu a reaktivity rozlišujeme:

AH II - T těžce rozpustný anhydrit vzniklý při výpalu na 200 až 300°C, reakce s vodou klesá s rostoucí teplotou výpalu

AH II - N nerozpustný anhydrit vzniklý zahřátím na 300 až 600°C, je identický s přírodním anhydritem, s vodou reaguje neobyčejně pomalu, ale tato reakce se dá urychlit přidavkem budičů

AH II - E vzniká výpalem nad 600°C, kdy se část anhydritu II rozpadá na CaO a SO₃

2.3 Pomalu tuhnoucí sádra

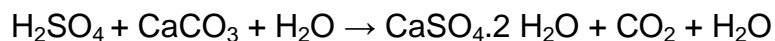
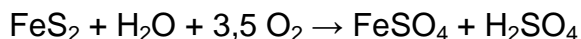
Toto síranové pojivo vzniká při teplotách vyšších než 800°C. Základem je CaSO₄ I, který nevyžaduje budič a finální pevnosti jsou 15 až 25MPa. Jedná se o „zednickou sádro“.

3. SUROVINY

3.1 Přírodní sádrovec

Jedná se o průhledný a bezbarvý nebo bílý minerál, někdy může být i jinak zbarvený, krystalizující v jednoklonné soustavě. Je známo asi 70 tvarů krystalů, z nichž nejrozšířenější jsou tabulkové, prizmatické, jehličkové a čočkovitého tvaru. Často dvojčatí a podle osy symetrie vytváří takzvané vlaštovčí ocasy. Chemické složení sádrovce je Ca 23,28%, S 18,62%, O 55,76%, H 2,34%. Má tvrdost 1,5 až 2 dle Mohse a měrnou hmotnost 2300 až 2320 kg/m³. Ve vodě je jen velmi málo rozpustný. Jeho ušlechtilými odrůdami jsou saharská růže, mariánské sklo, alabastr, který je jemně zrnitý, velice bílý, další ušlechtilou odrůdou je pak selenit, což je vláknitý sádrovec s hedvábným leskem. Vznikl jako sedimentární hornina, největší ložiska vznikla primární genezí nebo-li odpařováním mořských lagun a slaných jezer, kdy vysrážený síran vápenatý klesal ke dnu a následně byl překryt sedimenty sodných a draselných solí. V České republice je naleziště u Kobeřic na Opavsku, kde jej těží firma Gypstred, s.r.o.

Sekundární sádrovec vzniká rozkladem pyritu na kyselinu sírovou a síran železnatý a následnou reakcí s vápencem či dolomitem.



Ložiska sádrovce vznikajícího sekundární genezí bývají znečištěna vápencem, dolomitem, anhydritem, případně oxidy železa. [3]



Obr.1: Přírodní sádrovec

3.2 Uměle vzniké sádrovce

S přihlédnutím k náročnosti těžby přírodního sádrovce a jeho omezenou dostupností v určitých regionech se pro výrobce sádry nabízí využívání umělého sádrovce z průmyslové výroby. Primárně je pro producenta sádrovce ekonomicky mnohem výhodnější zbavovat se sádrovce formou prodeje oproti drahému skládkování. [10]

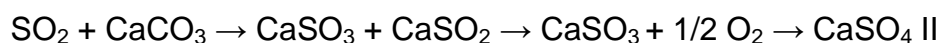
3.2.1 Energosádrovec

Jedná se o průmyslový sádrovec, jež vzniká dvěma způsoby, a to buď mokrou a nebo suchou desulfatací při odsiřování spalín. Jedná se zejména o hnědouhelné elektrárny, kdy z plynného SO_2 vzniklého spalováním síry

obsažené v uhlí s reakcí se sorbetem, kterým je buď CaCO_3 nebo CaO , vzniká CaSO_4 . K odsíření vzniká v zásadě buď v ohništi, nebo mimo něj. Odsiřují-li se spaliny v ohništi, přidává se sorbent k palivu a odsíření se děje ve spalovacím prostoru. Pokud jsou spaliny odsiřovány mimo spalovací motor, bývá zpravidla aplikován polosuchý způsob, nebo mokrá – takzvaná mokrá vápencová vypírka.

Polosuchý proces – do proudu suchých spalin se rozstřikuje vápenec v suspenzi s vodou. Voda se v procesu vypařuje a produkt je jímán v tuhé podobě. Takto zachycené sírany jsou obsaženy v největší míře ve formě hemihydrát siřičitanu vápenatého $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$. V důsledku toho, že se vápenec aplikuje přebytek, tak výsledný produkt obsahuje i volné vápno.

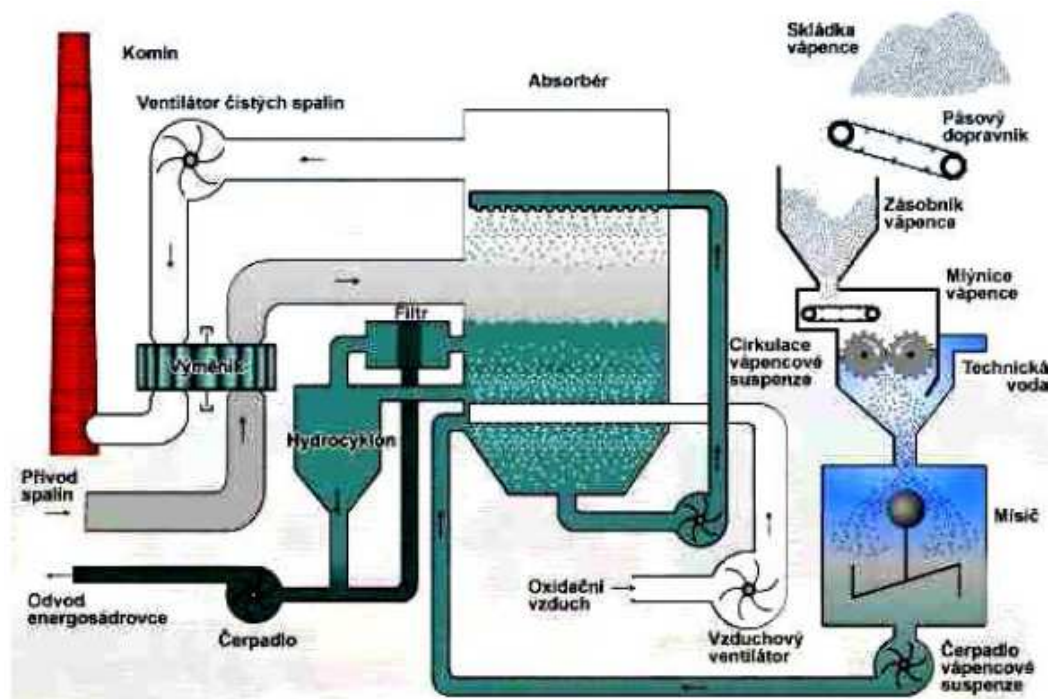
Suchá desulfatace – při fluidním spalování (spalování práškového tuhého paliva: černého nebo hnědého uhlí ve fluidních kotlích) z teploty okolo 900°C přidáváme vápenec, dochází k chemické reakci:



Vzniklý anhydrit zůstává v popelu, obsahuje hlinito-křemičitou amorfní fázi a rezidua vápna (volné vápno měkce pálené, anhydrit II, křemen, živce), které se chovají jako pucolány, což vede ke vzniku ettringitu do sedmi dnů hydratace, který málo expanduje.

Mokrá desulfatace – natěžený vápenec o vysoké čistotě 98% se podrtí na kladivo-odrazovém drtiči, dále pak pomele v kulovém mlýně na maximální velikost zrna 0,09 mm. Následně se smíchá s 25% vody, následkem čehož vznikne suspenze, která se vstříkuje do horní části absorberu, kde dochází k chemické reakci s oxidy síry. Protiproudě působí kouřové plyny o teplotě 180°C . Suspenze poté vstupuje do reprodukčního výměníku, dojde ke vzniku $\text{CaSO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, který se okyslí postupem výměníku níž na $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

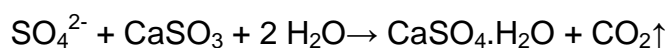
U dna výměníku se nachází indikátor složení, sleduje se pH, je-li obsaženo vápno, odvede se směs zpět, dokud není produktem sádrovec. V případě, že je vyroben sádrovec, je odtahován ve formě kalu do kalolisu, z něž vychází jako sypká směs s vlhkostí 10%., která se již nelepí na dopravní pásy.



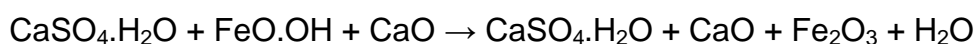
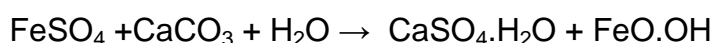
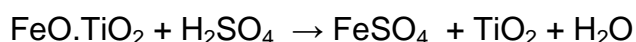
Obr.2: Schéma výroby energosádrovce mokrou cestou

3.2.2 Chemosádrovec

Chemosádrovec vzniká v chemických provozech, kde se vyskytují odpadní vody s obsahem SO_4^{2-} , které je nutno desulfatovat vápencem ve vodném prostředí:



Dále pak vzniká v provozech výroby kyseliny citronové, kde jsou opět síranové vody, ze kterých se vyrábí sádrovec vhodný na výrobu sádrových tvarovek. V neposlední řadě pak v průmyslové výrobě fosfátu, kdy je možná výroba fosfosádrovce, který je však nevhodný, jelikož fosfát vápenný způsobuje zpomalení tuhnutí cementu. Další příklad průmyslu, ze kterého lze vyrobit chemosádrovec je výroba titanové běloby:



Jedním z producentů takto vzniklého chemosádrovce v rámci hospodaření s vodami je akciová společnost Precheza Přerov. [3]

Vody s obsahem kyseliny sírové pocházejí z výroby titanové běloby TiO_2 , která je hlavním výrobním artiklem Prechezy. Titanová běloba se zde vyrábí tzv. sulfátovou technologií. Surovinou pro výrobu titanové běloby sulfátovým způsobem je nerost ilmenit. Chemicky jde o směs oxidů, především titanu a železa. Technologie výroby titanové běloby sulfátovou technologií je založena na rozkladu nerostu ilmenitu kyselinou sírovou. Ilmenit se mele, suší, a poté se rozkládá koncentrovanou kyselinou sírovou.

Nátoky odpadní vody jsou rozděleny do tří kategorií podle obsahu kyseliny sírové. Jsou to:

2. stupeň - slabě kyselé vody (do 15 g H_2SO_4 / 1l H_2O)

1.B stupeň - silně kyselé vody (200 g H_2SO_4 / 1l H_2O)

1.A stupeň - vyčleněné vody (nad 200 g H_2SO_4 / 1l H_2O)

Vyčleněné vody navíc oproti ostatním obsahují TiO_2 z výroby v množství od 1 do 5 g/l, to způsobuje atraktivní bílou barvu vzniklého sádrovce.

Vyčleněné a silně kyselé vody jsou neutralizovány vápencovou suspenzí a posléze jsou zbylé sírany neutralizovány vápennou suspenzí. Slabě kyselé vody jsou neutralizovány vápennou suspenzí. Na přípravu suspenzí se používá filtrát z neutralizační linky, čímž se snižuje množství potřebné vody.

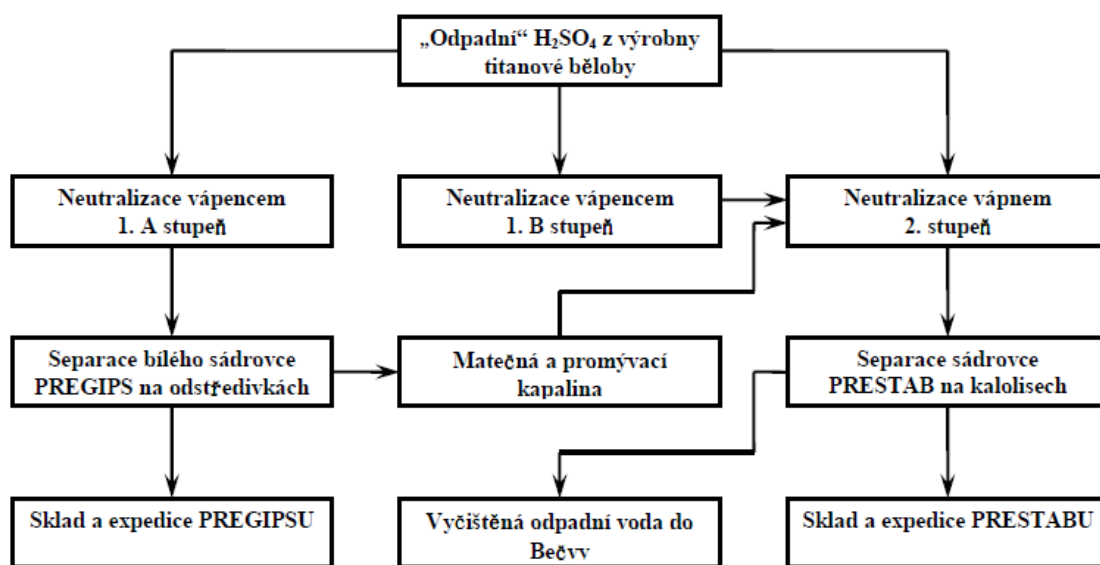
Síranové vody jsou na vstupu do procesu čištění akumulovány do 4 uzavřených zásobníků, které jsou pro případ havárie umístěny v suchých čerpacích jímkách. Odtud jsou z centrálního velínu distribuovány do příslušných neutralizačních reaktorů.

Vyčleněné vody jsou pro neutralizaci vápencovou suspenzí v centrifugách zbaveny vzniklého dispergovaného sádrovce. V centrifugách se sádrovec ještě promývá vodou, aby byl zbaven nezreagované kyseliny sírové. Takto získaný sádrovec, obsahující 11 až 13% vlhkosti, je odváděn pásovým dopravníkem do dvojpodlažní skladovací haly, která je zároveň expedičním skladem. V této hale je zabudovaný mostový jeřáb s velkoobjemovým drapákem, který slouží jednak k přemisťování sádrovce po skladovací hale, a dále pak k plnění násypek, které plní buď železniční vagóny nebo nákladní auta.

Odstředěný matečný roztok z 1.A stupně se stává, ve smyslu výroby průmyslového sádrovce, slabě kyselou vodou a je odváděna na 2. stupeň k doneutralizování vápnem. Dochází ke vzniku $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$. V případě potřeby zvýšit produkci je možno vést tuto vodu přes tzv. hydrocyklóny. Toto zařízení slouží k získávání hustější části matečného roztoku, kde je obsaženo určité množství sádrovce, které prošlo přes stěny centrifugy. Tato hustější voda s obsahem sádrovce se vrací do centrifugy. Zbylá část vody, která projde hydrocyklónem, pokračuje k neutralizaci vápencem na 2. stupeň. V současné době nejsou hydrocyklóny v provozu z důvodu nízké poptávky.

Zaměříme-li se na neutralizaci silně kyselých vod na 1. B stupni, tak se opět realizuje vápencovou suspenzí. Tato suspenze je dopravovaná na 2. stupeň, kde je spolu se slabě kyselými vodami doneutralizována vápnem. Zreagovaná suspenze z reaktoru 2. stupně se odvodňuje na kalolisech a vzniklý filtrační koláč obsahuje přibližně 50% vody. Nevzniká zde však již bílý produkt (Pregips) ale okrově zabarvený (Prestab). Ten se skladuje v druhé lodi haly, která je obsluhována stejným způsobem jako skládka bílého pregipsu, s tím rozdílem že v případě nedostačující poptávky je odvážen na venkovní deponii nedaleko závodu za řekou Bečvou. Schéma výroby chemosádrovce je na obrázku 3. Vyčištěná voda z kalolisů na 2.stupni se v dosazovacích nádržích sedimentací zbavuje zbytků sádrovce, který koaguluje a sedimentuje ke dnu, kde je shrabáván a odvážen na skládku. Z dosazovacích nádrží jde voda přes kontrolní měřicí jímku, kde se zjišťuje, zda splňuje parametry RAS (rozpuštěné anorganické soli) a CHSK (chemická spotřeba kyslíku). Produkce síranových vod z výroby titanové běloby je v čase poměrně rozkolísaná a podle toho úměrně kolísá výroba chemosádrovce. Z období od ledna do května 2010 byly průměrné týdenní výroby sádrovce 3015 t, z toho 2040 t pregipsu a 975 t prestabu, při průměrných spotřebách 1684 t vápence a 406 t vápna. Průměrné týdenní nátoky kyseliny sírové ve vodách byly následující: 1715,5 t v 1. A stupni, 264,0 t v 1. B stupni a 27,2 t v 2. stupni. Celkový průměrný týdenní nátok kyseliny sírové do čistírny je 2006,7 t. Podle přepočtu molárních hmotností kyseliny sírové ($M = 98 \text{ g/mol}$) a sádrovce ($M = 172 \text{ g/mol}$) by měla týdenní produkce sádrovce činit 3521 t. Můžeme tedy konstatovat, že účinnost

získávání sádrovce je 86 %. Vyrobený Pregips je prodáván výrobci cementu jako regulátor tuhnutí, výrobci stavebních hmot, výrobci sádry a do zemědělství. Lze jej použít k hnojení olejnin, například ozimé řepky olejky, slunečnice, máku, hořčice a plodin náročných na spotřebu síry, obilovin, jetelovin a ke hnojení zeleniny. Prestab se díky svým těsnícím vlastnostem využívá k technickým rekultivacím povrchových důlních děl, skládek odpadů a podobným aplikacím. Lze jej využít i jako podsypového materiálu při stavbě silnic. [7]



Obr.3: Výroba chemosádrovce v Precheze Přerov

3.2.3 Ostatní druhy průmyslových sádrovců

Při výrobě kyseliny citronové vzniká rovněž sádrovec, ten je však kontaminován zbytky kyseliny citronové, berlínské modří a karborafinu.

Navzdory vysoké koncentraci síranu vápenatého až 99% v sušině, je tuhnutí z tohoto sádrovce vyrobené sádry znečišťujícími příměsemi natolik zpomaleno a výsledné pevnosti jsou tak nízké, že je pro výrobu sádry nepoužitelný. V České republice se vyrábí v Kaznějově.

Při výrobě kyseliny fluorovodíkové rovněž vzniká sádrovec. Tento chemosádrovec navíc obsahuje anhydrit, určité množství kazivce, organické látky a zbytky kyseliny chlorovodíkové. Používá se jako zpomalující přísada do

cementu, avšak pro výrobu sádry je nevhodný. V České republice se vyrábí v Ústí nad Labem.

Významným producentem sádrovce byla Fosfa Poštorná, která v současné době již sádrovec neprodukuje, ale stále je k dispozici 800 000t chemosádrovce dobré kvality.

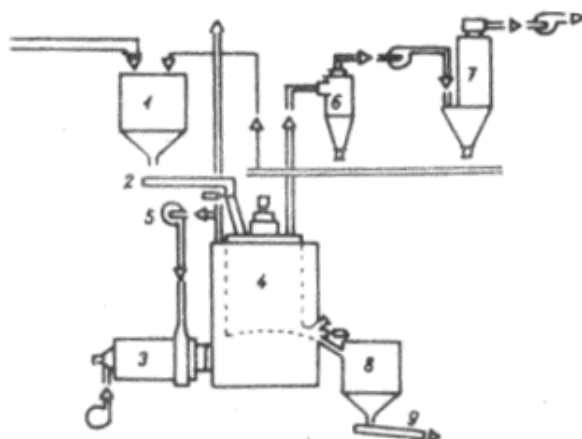
4. VÝROBA SÍRANOVÝCH POJIV

Sádrová pojiva vznikají dehydratací sádrovce $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Nejběžnějším způsobem dehydratace je vypalování, podle teploty výpalu rozlišujeme tři základní druhy sádrových pojiv (sádra rychle tuhnoucí, anhydritové maltoviny a sádrová pojiva pomalu tuhnoucí).

4.1 Výroba β $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$

Jedním z nejstarších způsobů výroby rychle tuhnoucí sádry je její zahřívání ve vařáku. Jedná se o kovové kotle o objemu 3 až 15 m³, které jsou opatřeny míchadlem. Jeho nevýhodou je přerušovaná výroba, Jeho velkou předností je však to, že se tak, zejména ve spodní části náplně vařáku, získává sádra se značným obsahem α $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$.

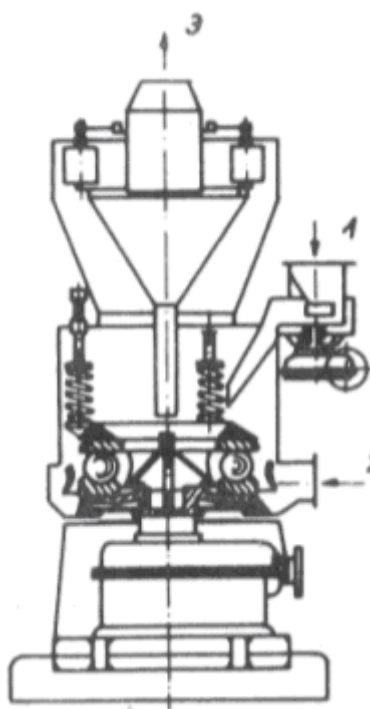
Postup je takový, že se sádrovec před dávkováním do vařáku vysuší a pomele. Vařák se spalinami neohřívá přímo, ale potrubím, ve kterém prochází horké plyny. Dehydratace probíhá tak, že se nejdříve sádrovec předem předehtátý asi na 60 až 70°C ohřívá za stálého míchání až na 130 až 150°C, což trvá asi 20 až 30 minut. Pak nastává intenzivní dehydratace, projevující se intenzivním nakypřováním, tzv. vařením. Její ukončení se projeví sednutím náplně a dalším stoupáním její teploty. Maximální teplota by neměla přesáhnout 170°C, protože pak začíná vznikat rozpustný anhydrit, který zhoršuje vlastnosti sádry. Doba ohřívání ve vařáku je 2,5 až 3,5 hodiny. [1]



- 1 - zásobník sádrovce
- 2 - odměřovací zařízení
- 3 - generátor topných plynů
- 4 - vařák
- 5 - ventilátor
- 6 a 7 - odlučovač prachu
- 8 - zásobník sádry
- 9 - odběr sádry

Obr.4: Výpal sádry ve vařáku

Ke kalcinaci sádrovce může také docházet v sušících rotačních pecích, v nichž se surovina mele a současně kalcinuje procházejícím teplým vzduchem o teplotě 600 až 700°C p řiváděným z topeniště. [4]



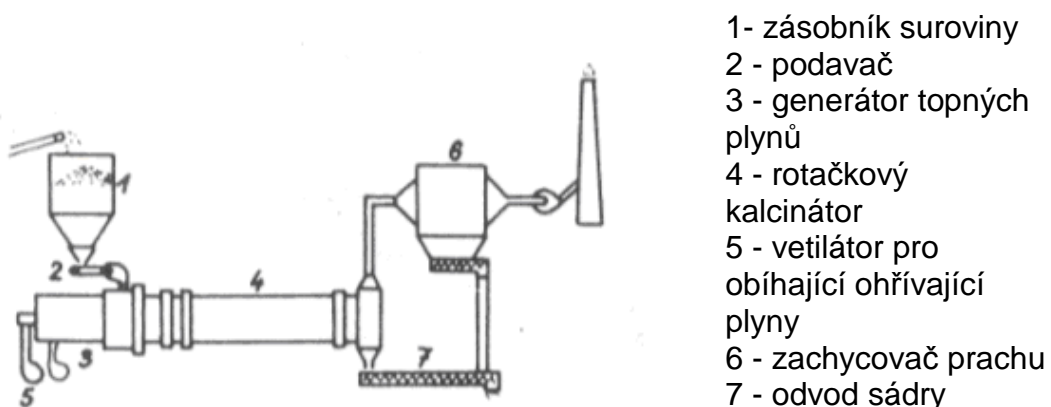
- 1 - přívod sádrovce
- 2 - přívod horkého plynu
- 3 - odvádění hotového výrobku

Obr.5: Sušící mlýn systému Claudius-Peters

Dalším způsobem kalcinace je v rotačních pecích, kde se výpal může provádět buď souproudě nebo protiproudě. Při souproudém postupu přicházejí do pece spaliny o teplotě asi 900°C a p ři odchodu mají teplotu 160 až 180°C. P ři protiproudním postupu je nutno teplotu spalin přívodem vzduchu

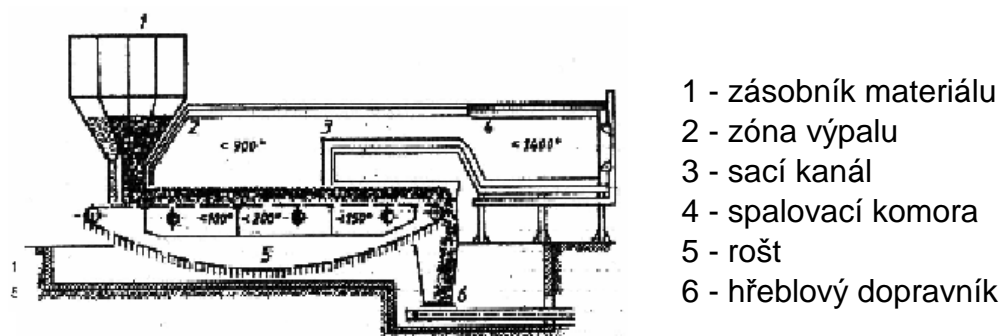
snížit na 600 až 700°C. Z rotační pece odcházejí spaliny, které pak mají nižší teplotu asi 100°C. K topení lze použít jak tuhá, tak i kapalná nebo plynná paliva. Rotační pec má průměr 2 m a délku asi 12 m, otáčí se rychlostí 1,5 otáček za minutu. Doba průchodu suroviny pecí trvá jen 20 min, proto se má prodlužovat buď zařízením vestavby nebo změnou rychlosti otáčení nebo sklonu pece.

Vypálená sádra se mele a uskladňuje za teploty asi 100°C, kde „dozrává“. V podstatě jde o přeměnu zbylého sádrovce a vzniklého rozpustného anhydritu na půlhydrát. [4]



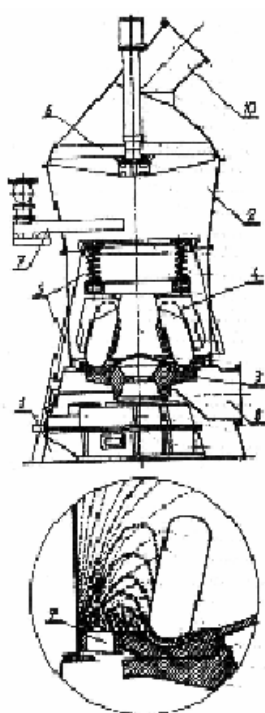
Obr.6: Rotačkový kalcinátor firmy Bütner-Schilde-Haas

Výpalem sádrovce na roštu A.N. Knaufa získáváme opět beta modifikaci hemihydrát síranu vápenatého. Surovina roztríděná podle frakcí je vsypávána na rošt. Spaliny přiváděné ze spalovací komory o teplotě až 900°C, jsou odtahovány exhaustory skrz rošt. Tento způsob výroby je zcela kontinuální a dobře regulovatelný rychlostí posunu roštu a výkonem exhaustorů. [7]



Obr.7: Rošt A.N. Knaufa

Hlavní součástí tohoto systému je kolový mlýn, do něž je současně přiváděna surovina a horké spaliny. Tyto mlýny vypalují na nízkou teplotu (300 až 400 °C) nebo na vysokou teplotu (500 až 700°C). Hotová sádra je vnosem unášena do cyklónu. Tato zařízení jsou z pravidla instalována ve dvojici pro dva druhy výpalu. Jsou aplikována především ve výrobních rychlovazné sádry při výrobě sádrokartonu. [7]



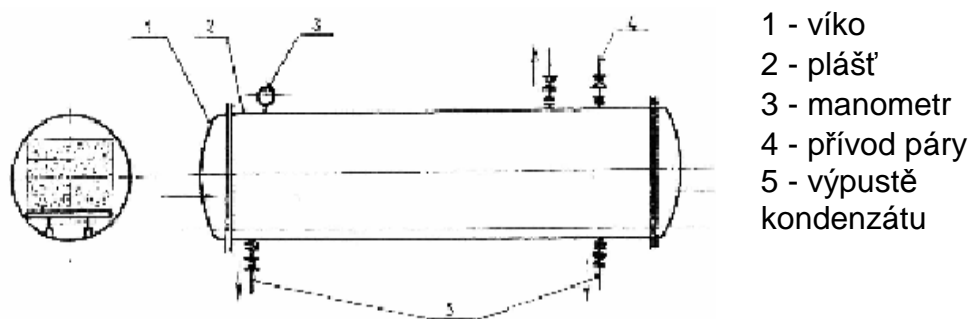
- 1 - převodovka
- 2 - korpus mlýnu
- 3 - otáčivá mlecí deska
- 4 - kotouče
- 5 - přítlačné zařízení
- 6 - separátor
- 7 - podavač materiálu
- 8 - přívod hořících plynů
- 9 - otvor na obvodu mísy pro přívod plynu
- 10 - odvod pomletého materiálu

Obr.8: Sušící mlýn

4.2 Výroba α $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$

Výroba α půlhydrátu probíhá v autoklávech za zvýšené teploty a tlaku. Do pece, která může být buď vertikální nebo horizontální, je přiváděna perforovanou trubicí ostrá pára, která je přehřívána nad 100°C. Sádrovec se do této pece vkládá v podobě cihel, za přídavku mineralizátoru (kyselina citronová, kyselina jantarová), který na povrchu zrna vytváří další přítlak, jež zamezuje úniku páry, voda pak odchází v kapalně formě. Dehydratace, jak již bylo zmíněno při tomto způsobu výroby, je realizována ostrou párou. Po otevření autoklávu a poklesu tlaku, se s teplotou nesmí klesnout pod bod ekvivalence, jinak by hemihydrát opět přešel na dihydrát. Z tohoto důvodu se i při přenosu do

sušárny nesmí klesnout pod 98°C, při opětovném vysušení takto vzniklého dihydrátu by rapidně poklesla kvalita.



Obr.9: Autokláv

Dalším možným způsobem je beztlaká výroba v roztoku solí (nejčastěji chloridy). Aby docházelo ke vzniku přesných krystalů, je nutné, aby voda ze sádrovce odcházela v kapalně formě, čehož dosáhneme roztokem solí, který vře při nižší teplotě. Bod varu se nyní posune na teplotu 104 až 106°C. Proces probíhá v tzv. „dehydrátoru“, což je nádoba s dvojitým pláštěm, opatřená míchadlem, které pro větší intenzitu udržuje suspenzi ve vznosu. V meziplášti se nachází topná spirála. Pro udržení teploty a koncentrace roztoku je dehydrátor opatřen víkem. Nevýhodou tohoto systému je vodní hospodářství, jelikož po vykrytí otvorů v perforovaném dně dochází k promývání vroucí vodou, které se opakuje pětkrát. Naopak výhodou je nepotřeba autoklávu pro vytvoření tlaku. [3,11]

5. MOŽNOSTI VÝROBY RYCHLE TUHNOUCÍ SÁDRY Z ODPADNÍCH HMOT

Vzhledem k nedostatečnému výskytu sádrovce v minulých letech nejen u nás, ale i v zahraničí, se již delší dobu hledají možnosti výroby rychle tuhnoucí sádry z některých odpadů chemického průmyslu.

Dříve se krátkou dobu uvažovalo o možnosti regenerace sádry z vyřazených forem užívaných v keramickém průmyslu. Šlo však jen o malá množství sádrovce, který byl mimo to ještě znečištěn ztekucovači (např. vodním sklem) přidávanými do licích keramických břeček.

Proto se později ukazovalo mnohem nadějnějším zpracování síranového odpadu vznikajícího v chemickém průmyslu při chemickém čištění odpadních vod, obsahujících volnou kyselinu sírovou, k čemuž se používá buď vápenného mléka nebo vápencového kalu.

Vznikající síran vápenatý byl však nejdříve používán místo přírodního sádrovce ke zpomalování tuhnutí portlandského cementu. Zkoušelo se též zpracování tohoto odpadu při přípravě surovinových směsí pro výrobu slinku portlandského cementu. Při jeho výpalu měl sádrový odpad působit jako mineralizátor příznivě ovlivňující vznik $3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$.

O něco později se však v zemích s nedostatkem přírodního sádrovce začala znovu věnovat velká pozornost výrobě rychle tuhnoucí sádry ze síranových odpadů chemického průmyslu. Ne všechny odpadáající sírany jsou však vhodné pro její výrobu.

Tak např. odpady vznikající při výrobě kyseliny citronové, obsahující až 99% síranu vápenatého v sušině, mají malé množství kyseliny citronové, karborafinu a berlínské modři. Tato malá množství přímísenin velmi zpomalují tuhnutí z tohoto odpadu vyrobené sádry a podstatně snižují její pevnost.

Také odpady z výroby kyseliny fluorovodíkové, které jsou směsí anhydritu a sádrovce s příměsí kazivce, organických látek (zuhelnatělých flotačních olejů) a kyseliny sírové a fluorovodíkové, nebyly vhodné pro výrobu rychle tuhnoucí sádry.

Velmi mnoho studia se věnovalo a věnuje výrobě tzv. fosfosádry z odpadů při výrobě kyseliny fosforečné a fosforečnanů z apatitu.

Velikost a tvar vznikajících sádrovcových krystalků velmi ovlivňuje jakost vyráběné sádry, protože tímto způsobem lze regulovat i množství v sádrovci obsažených nežádoucích nečistot. Mimo to má též význam ekonomický, protože lze tak ovlivňovat i rychlost filtrace vznikajícího odpadu.

Dále byly potvrzeny japonské poznatky, že velký vliv na jakost sádry mají v ní po vypálení obsažené ve vodě rozpustné fosforečnany. Ve vodě nerozpustné sloučeniny fosforu nemají prakticky žádný vliv.

Na základě laboratorně zjištěných závislostí byl pro realizaci výroby rychle tuhnoucí sádry Poštorná navržen tento postup: Síranové odpady se zachytí ve vakuovém filtru. Pak se vymývací nádrži zbaví na povrchu krystalů zachycených ve vodě rozpustných fosforečných sloučenin a v odstředivce přebytku vody. Potom se vzniklé krystalky nepřímo vyhřívají v rotačním bubnu. Pak se sádra chladí, mele a expeduje. Pozvolným ochlazením se mají vlastnosti sádry stabilizovat a krátkodobým pomletím se mají obnažit vnitřky sádrových částic, které jsou reaktivnější než jejich povrchy.

V zahraničí se nejvíc „fosfosádra“ získává suchým způsobem. Je to např. systém Blue Turbo, který má vícefázové sušárny s přímým ohřevem sádrovcového odpadu horskými spaliny.

V pozdější době se věnovalo více pozornosti síranovým odpadům, které vznikají při výrobě titanové běloby. I v tomto případě se počítalo s jejich využitím jen pro regulaci tuhnutí portlandského cementu. [1]

6. VLASTNOSTI SÁDRY

Podle ČSN 72 2301 “Stavební sádra rychle tuhnoucí” se rozděluje u nás sádra do tří tříd. Každá třída má splňovat určité podmínky, které lze vyjádřit následnými fyzikálními a chemickými vlastnostmi:

Tab.1: Požadované fyzikální a chemické vlastnosti rychle tuhnoucí sádry [5]

vlastnosti	třída		
JEMNOST MLETÍ	I	II	III
největší přípustný zbytek na síť			
1,25	0	2	3
0,63	1	nepředepisuje se	
0,2	10	20	25
TUHNUTÍ			
počátek v minutách nejméně	7	5	4
doba v minutách	9 až 25	8 až 25	6 až 25
PEVNOST			
nejmenší průměrná pevnost v ohybu v MPa			
po 1 hodině	1,8	1,3	1
po vysušení	3,5	3,2	2
nejmenší průměrná pevnost v tlaku v MPa			
po 1 hodině	3	2,3	2
po vysušení	8,5	6,5	4,5
CHEMICKÉ SLOŽENÍ			
minimální obsah SO_3 v %	45	25	35
maximální obsah vlhkosti v %	2	2	2

K uvedeným normou předepsaným hodnotám je třeba ještě uvést, že měrná hmotnost rychle tuhnoucí sádry je větší než u sádrovce a to 2,60 až 2,75 gcm^{-3} . Obejmová hmotnost této sádry ve volně sypaném stavu je 800 až 1100 kgm^{-3} a v setřeseném stavu 1250 až 1450 kgm^{-3} .

Množství vody potřebné k přípravě sádrové kaše určité konzistence závisí na mnoha činitelích:

- Sádry obsahující $\alpha\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ (35 až 45% hmotnostních) vyžadují méně vody než $\beta\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ (50 až 70% hmotnostních).
- Vyrobené sádry uložené dva až tři dny v suchém prostředí potřebují při zpracování méně vody než sádry čerstvé nebo delší dobu skladované. Lze to vysvětlit tím, že nestabilní anhydrity se přemění na půlhydrát a že se na povrchu sádrových částic vytvoří slabé sádrovcové povlaky, které zpomalují reakci dalších vrstev sádry s vodou. To má přímý vliv i na zpomalení tuhnutí sádry a zvýšení pevností sádrových výrobků.

- Také teplota kaše má vliv na potřebné množství přidávané vody. Všeobecně se uvádí, že při vyšší teplotě vzniká více krystalizačních zárodků a sádra rychleji tuhne, Částečně tomu lze zabránit větším přídavkem vody, a to hned při začátku přípravy kaše. Přidávání vody do kaše, která již začala houstnout a tuhnout, je již bezpředmětné.
- Pro požadovanou konzistenci sádrové kaše potřebné množství vody lze účinně zmenšovat optimálním přídavkem vhodných plastifikátor a zpomalovačů tuhnutí.
- Při praktickém použití sádry se také vodní součinitel bude měnit dle způsobu zpracování.

Navlhavost sádrových výrobků je poměrně malá, avšak má velmi nepříznivý vliv na jejich pevnosti, modul pružnosti a na trvalou deformaci. Z tohoto důvodu se stále hledají možnosti zlepšení odolnosti sádrových výrobků proti působení vody a vlhkosti. Řeší se to buď výrobou speciálních sádrových maltovin, přídavkem výplní do sádrových kaší nebo výrobou dílců co nejhutnějších, přídavkem hydrofobních látek, nebo dodatečnou impregnací nebo povrchovou úpravou nátěrem nebo nalepením fólií.

Z pravidla velmi vítanou vlastností sádry je její rozpínání při tuhnutí. To umožňuje dokonalé vyplnění forem včetně vykopírování všech detailů. To má význam pro výrobu architektonických dílců a různých ozdob, forem.

Někdy se v praxi využívá i toho, že sádrové hmoty mají zejména při přídavku expandovaného perlitu nebo dříve azbestu poměrně malou tepelnou vodivost a že dehydratace sádrovce je reakcí endotermní a probíhá pomalu. To umožňuje ochranu ocelových konstrukcí obložených vhodně tvarovanými sádrovými výrobky proti ohni.

7. PROCESY PROBÍHAJÍCÍ PŘI TUHNUTÍ A TVRDNUTÍ SÁDRY

Procesy probíhající při tuhnutí a tvrdnutí rychle tuhnoucí sádry studoval již v roce 1887 Le Chatelier. Experimentálně zjistil, že po smíchání sádry s vodou dochází k rozpouštění $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$, ke vzniku nasyceného roztoku a

k následující přeměně $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ na $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Protože rozpustnost $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ přepočtena na CaSO_4 činí asi 8 g a rozpustnost $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ jen asi 2 g v 1 litru, musí se při této přeměně roztok sát přesyceným. Proto se z něho začnou vylučovat krystalky $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Koncentrace $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ přitom v roztoku klesá, takže další jeho množství se může zase rozpouštět a proces může pokračovat. Přitom krystalky vytvořeného sádrovce rostou, proplétají se a srůstají.

Dle A. A. Bzikota je možno tuhnutí a tvrdnutí sádry rozdělit do tří period.

V první periodě probíhá smáčení a rozpouštění $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ve vodě až vznikne jeho nasycený roztok.

V druhé části procesu, která začíná téměř současně s první, dochází vlivem vzniku dispersních krystalických částecek ke tvorbě gelovité koloidní masy.

Obě periody trvají pouze několik minut. Potom dochází k přeměně rozpustného jemně krystalického sádrovce na málo rozpustný, hrubě krystalický sádrovec.

Tuto úvahu lze dobře fyzikálně zdůvodnit. Malé krystalky jsou totiž nestálé a přeměňují se na krystalky větší, termodynamicky stabilnější s menší povrchovou energií.

Později se však začaly proti této teorii hromadit vážné námitky. Jelikož ní se nedá vysvětlit závislost rychlosti tuhnutí a tvrdnutí sádry na teplotě a vliv silných a slabých elektrolytů, které působí jako urychlovače nebo zpomalovače tuhnutí.

Stručně lze změny mechanických vlastností sádrových výrobků vysvětlit následovně:

Po rozdělání sádry s vodou dochází nejdříve k pomalému a pak k rychlému tuhnutí sádry. Tento proces je poměrně krátký a odpovídá periodě tvorby tuhé struktury kostry. Pak se pevnosti sádrových výrobků zvětšují. Po 20 až 40 minutách se dosáhne největší pevnosti. Následně pevnost poněkud poklesne, jelikož k překrystalování sádrovce dojde, až je přeměněn veškerý půlhydrát. Teprve pak následuje rychle zvětšení pevnosti sádrových tělísek.

Pro urychlení rozpouštění půlhydrátu je nutno zvětšit jeho jemnost, aby se zvětšil jeho měrný povrch. Proces se také urychlí promícháním směsi sádry a vody, protože se tím zmenší tloušťka difúzní vrstvy. Dále pak lze zvětšit koeficient difúze pomocí látek zvětšujících viskozitu (dextrin, glycerin).

Proces krystalizace můžeme rozdělit do dvou stádií. První je charakterizováno tvorbou krystalizačních zárodků a druhé jejich růstem.

Čím větší je přesycení roztoku půlhydrátu, tím rychleji se krystalizační zárodky vytvářejí. Vznikají-li krystalizační zárodky příliš rychle, jsou velmi malé, nejsou stabilní a časem se zase rozpadají.

Krystalizační zárodky při tvrdnutí sádrových maltovin je možné také vytvářet přídavkem pomletého sádrovce nebo i jemného křemenného písku, či vápence.

Rychlost vzniku krystalků závisí na přesycení a na rozměrech samotného krystalku, ne který se ukládají postupně další monomolekulární vrstvy.

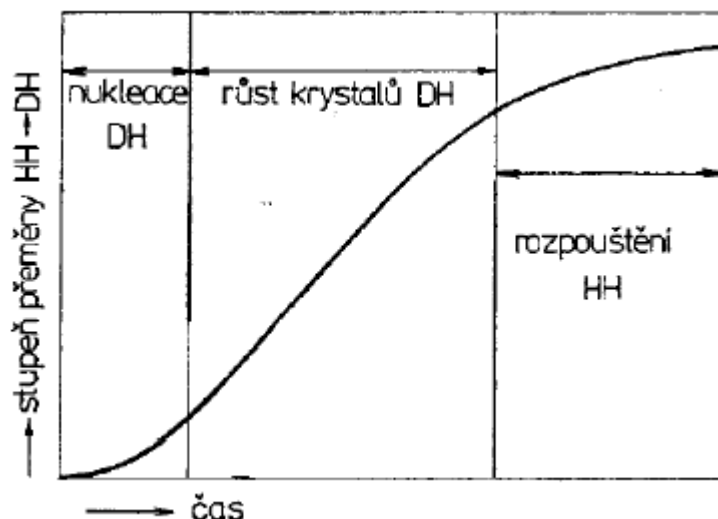
Další zvětšení pevnosti sádrových výrobků lze docílit ještě jejich vysušením. To lze vysvětlit další hydratací a odpařením vody. Přitom z vodného, mezi krystaly uloženého, síranového roztoku vzniká další sádrovec spojující dále jednotlivé již existující krystaly mezi sebou. Mimoto po odpaření vody nedochází tak snadno k vzájemnému posunu krystalů jako při její přítomnosti. [1]

Podle fyzikální teorie se proces hydratace člení do tří period.

Vlivem lokálních přesycení roztoku hemihydrátem se začnou tvořit zárodky dihydrátu. Tento proces je pomalý, avšak lze jej urychlit přidáním krystalizačních jader v podobě mletého sádrovce nebo vápence. Tato perioda se nazývá indukční.

Druhá perioda je označována jako hlavní. Hemihydrát je hydratován a dochází k vývinu krystalů dihydrátu, tyto krystaly se vzájemně prorůstají, proplétají a srůstají. Tvoří se molekulární vazby a směs se stává tuhou látkou. Část sádrovce zůstává až do konce přítomna ve formě gelu a na konec zaplní případné vzniklé mezery.

Poslední perioda se nazývá rekrytalizační. Zde dochází k transportu vody dovnitř hemihydrátových zrn. Dochází k takzvané vnitřní rekrytalizaci. Tento proces je pomalý, lze jej urychlit zvýšením teploty.



Obr.10: Průběh hydratace ve vodní suspenzi

8. CHEMICKÉ PŘÍPRAVKY OVLIVŇUJÍ VLASTNOSTI SÁDRY

Pro zabezpečení dobrých pevností sádrových výrobků se musí sádrová kaše zpracovat před začátkem jejího tuhnutí. Proto se k sádře přidávají buď již při jejím mletí, nebo až při úpravě kaše. Přidávají se obvykle zpomalovače tuhnutí, jakou jsou kyselina citronová, klíh, kreatin nebo melasa. Tyto přísady mohou zásadně ovlivnit pevnosti zatvrdlé sádry z důvodu změny tvar krystalů dihydrátu z tenkých a dlouhých na krátké a destičkovité.

Dle mechanismu působení regulátorů je lze rozdělit do pěti skupin (Ratinov):

1. skupina: silné a slabě elektrolyty, neelektrolyty, které mění rozpustnost půlhydrátu i dihydrátu, ale nevytvářejí na jejich částicích špatně rozpustné filmy. Některé z nich zvětšují rozpustnost a urychlují tuhnutí (NaCl , KCl , NaSO_4), jiné způsobují zpomalení tuhnutí (NH_3 , etylalkohol).

2. skupina: látky vytvářející krystalizační zárodky (sádrovec), vyznačují se urychlováním tuhnutí sádry

3. skupina: látky povrchově aktivní, schopné adsorpce na půlhydrátu i sádrovci, které zpomalují tvorbu krystalizačních zárodků (zpomalovače vápnoklihovalé, ze sulfidových výluhů, které současně působí jako ztekucovače)

4. skupina: látky vytvářející na částicích půlhydrátu ochranné, špatně rozpustné filmy (fosforečnany a boritany alkalických kovů)

5. skupina: přípravky obsahující směs látek z některých uvedených skupin (elektrolyty a látky povrchově aktivní), z počátku způsobují tuhnutí a urychlení hydratace

Uvedené rozdělení není zcela jednoznačné, avšak postačuje pro představu o účinku regulátorů, který závisí na vlastnostech sádry.

Všechny regulátory tuhnutí se mají dobře rozpouštět ve vodě, mají být účinné i při malém přídávku, nemají při uložení podléhat zkáze, nemají nepříznivě působit na osoby a s nimi pracující, nemají ztěžovat odformování výrobků a zhoršovat čištění forem. Mimoto nemají při optimálním přidaném množství zhoršovat ostatní vlastnosti sádrových výrobků, jako je jejich pevnost, odolnosti proti nárazu.

9. POUŽITÍ RYCHLE TUHNOUCÍ SÁDRY VE STAVEBNICTVÍ V 70. LETECH

V 70. letech minulého století se rychle tuhnoucí sádra v zahraničí zpracovávala k mnoha účelům. Tak např. v tehdejší NDR se ze sádry vyráběly malé příčkové dílce s perem a drážkou, které byly velmi oblíbené i v jiných zemích Evropy, kde se vyráběly ve vertikálních bateriích. Jejich rozměry byly zpravidla 50 x 65 x 6 až 10 cm.

Jelikož montáž těchto dílců byla pracná, přešlo se na dílce mající jeden rozměr odpovídající výšce místnosti. Byly vyztuženy rákosem a neměly zcela hladký povrch. Proto se musely dodatečně vyhlazovat. Z tohoto důvodu se jejich výroba zastavila.

Daleko větších úspěchů se docílilo s dílci mající stejné rozměry, které však byly vyztuženy třemi vrstvami skleněných vláken nebo i ocelovou výztuží.

Dalšími oblíbenými výrobky v tehdejší NDR byly celo stěnové příčky a dílce pro zavěšené stropy, které sloužily buď k dekoraci nebo k odsávání nebo měly bránit šíření zvuku.

V PLR byla v té době velmi oblíbená výroba stěnových dílců „Monta“ rozměrů 667 x 500 x 80 mm. Vyráběly se tak, že do nádoby s vrtulovým mísidlem se do předem odměřeného množství vody postupně vsypávala sádra. Promíchaná kaše se vylila do formovací soupravy. Jakmile výrobek zatvrdnul, vytlačil se hydraulicky zvednutím dna formy a dal se na sušicí vozíky. Na nich se výrobky zavezly do tunelové sušárny, kde se asi 40 hodin sušily při 80°C. Následně se kusy kladly po 12 kusech do balíků. Na stavbě se používaly k obkládání stěn, jako podkladní desky a při betonáži stěn jako tzv. ztracené bednění.

Dále se v PLR vyráběly zejména stropní tvarovky a sádrokartonové desky. Při výrobě sádrokartonových desek se postupovalo tak, že se sádra přiváděla ze zásobníku napřed do suchého šnekového míchače. Pak se v míchačce připravila sádrová kaše, která se ve formovacím stroji nalévala mezi horní a spodní kartónový papír. Po zatvrdnutí se sádrokartonový pás rozřezával na desky rozměrů 9 až 13 mm x 90 až 120 cm x 250 až 280 cm. Protože tyto desky obsahovaly asi 28 až 32% vlhkosti, bylo je potřeba sušit. K tomu sloužila 67 m dlouhá sušárna, která byla rozdělena do tří pásem. V prvním pásmu se udržovala teplota v rozmezí 90 až 145°C, v druhém 100 až 160°C a v posledním 90 až 135°C. Desky prošly sušárnou za 90 až 240 minut, dle jejich tloušťky. Po vysušení měly obsahovat nejvýše 1,5% a nejméně 0,5% vody. Nakonec se desky třídily, případně ještě upravovaly jejich rozměry a následně expedovaly.

Vlastnosti sádrokartonových desek byly dány především jakostí použitého kartónu. Je to zejména jeho pevnost v tahu za sucha a po namočení, jeho nasákavost a váha jeho 1 m², které velmi ovlivňují vlastnosti výrobku.

Velký význam má též soudržnost kartónu se sádrovým středem. To se zpravidla zajišťovalo malým přídavkem některých látek do sádrové kaše, např. 1% dextrinu apod.

Sádrokartonové desky se používaly ve stavebnictví k nejrůznějším účelům. Byly to např. obklady stěn a stropů, podhledy, podklady pod omítky a různé dekorační prvky. Zpracovávaly se také při výrobě příček a některých panelů.

V bývalé ČSSR se kvůli nedostatku vhodného kartonu uvažovalo spíše o zavedení výroby sádrovláknitých desek, které lze rozdělit na více druhů. Dle způsobu přidávání vláken nebo podle jejich druhu nebo podle použití finálních výrobků.

Desky se vyráběly buď tak, že vlákna v nich byla rozptýlena zcela neuspořádaně, avšak stejnoměrně nebo mohla být ve formě pramenců nebo rohoží. Byla to především vlákna skleněná, dále pak čedičová, rostlinná (celulózová), živočišná nebo i z plastických hmot.

Vlastní technologie výroby sestávala z těchto částí: příprava směsi, vytváření pásu, lisování pásu, řezání desek a jejich sušení.

Při použití skleněných matrací se např. postupovalo tak, že se napřed nalila sádrová kaše, pak se vložila skleněná matrace, znovu se nalila sádrová kaše, a zase vložila matrace a konečně se forma doplnila sádrovou kaší. Následně se lisovala asi 8 minut tlakem 10 kp/cm^2 , nechala se odležet 3,5 hodiny a sušila se při 70°C .

Při zjišťování možnosti výroby sádrovláknitých desek u nás se došlo k těmto závěrům: bylo by možné vyrábět sádrovláknité desky z našich jakostnějších sáder za přídatku 15% hmotnostních vytríděného papíru. Postupovalo by se při tom tak, že by se do odměřeného množství vody vneslo příslušné množství papíroviny, směs by se dobře rozvláknila a pak by se z stálého míchání přidala sádra s optimálním množstvím zpomalovače tuhnutí. Po krátké době, asi 1 minutě, by se směs vylévala na formovací pás. Vzniklé desky by se pak určitou rychlostí po určité době lisovaly. Pak by se vysoušely tak, aby jejich teplota nepřestoupila 40 až 45°C .

Je zcela samozřejmé, že se u sádry, stejně jako u jiných maltovin, zjišťoval též možnost výroby lehkých stavebních hmot. To mělo u sádry ještě ten důvod, že se na 1 m^3 sádrového výrobku spotřebuje 500 až 1000 kg sádry. Proto se k sádře přimíchávaly např. lehké organické látky (odpadní korková drť,

pazdeří). Zkoušel se též přidavek lehkých anorganických výplní (strusková pemza, cihelná drť, křemelina, popílek a expandovaný vermikulit nebo perlit).

Největšího uplatnění v době minulého staletí našel perlit. Směsi sádry a expandovaného perlitu se velmi často zpracovávaly na výrobky vhodné pro proti požární ochranu konstrukcí. Směsi sádry a perlitu v objemovém poměru 1:2 až 1:3 a někdy i vápno a organická nebo anorganická vlákna se zase používaly k ručnímu nebo i strojnímu nanášení omítek. V USA se v některých závodech přidával expandovaný perlit i do sádrokartonových desek.

Všeobecně platí, že směsi bohatší na perlit jsou sice lehčí a lépe tepelně izolují, avšak vyžadují k přípravě licí hmoty více vody a jsou méně pevné než směsi perlitem chudší.

Jinak lze sádrové výrobky vylehčovat též přidavkem pěny. Podobných hmot, avšak pevnějších bylo vyráběno příměsí vhodných nadouvadel. Tak např. rozkladem H_2O_2 za vzniku O_2 , reakcí mezi NaHCO_3 a H_2SO_4 vzniká CO_2 a při přidavku silikonového nadouvadla vzniká H_2 , jež umožňoval vznik tzv. plynosádry.

Další možnost vylehčení spočívala ve výrobě mikroporézní sádry o objemové hmotnosti 500 až 600 kg/m^3 . Bylo možno ji získat tak, že se sádra obsahující větší množství vody míchala tak dlouho, až se v důsledku počínajícího tuhnutí hustota zvětšila tak, že nemohlo dojít již k jejímu rozdělování vlivem usazování. Pak se směs rychle vylévala do forem, aby další tuhnutí a tvrdnutí mohlo již probíhat v klidu, aby výrobky měly dostatečnou pevnost. Zajištění těchto podmínek bylo však velmi složité. Mimoto se muselo z mikroporézních výrobků odpařit mnohem více vody než z normálních sádrových výrobků.

Ve výzkumu se zjišťovaly způsoby případného zlepšení vlastností sádrových výrobků. Při uvažování všech ovlivňujících faktorů se došlo k závěru, že vytěžený sádrovec by se neměl skladovat bez přístřeší, ale v zásobnících odpovídající nejméně 10denní zásobě. Tak se zabráňovalo jeho dalšímu zvlhčování deštěm, které zhoršuje jeho drtitelnost a vyžaduje více tepla při jeho vysušování. [1]

10. POUŽITÍ RYCHLE TUHNOUCÍ SÁDRY VE STAVEBNICTVÍ V SOUČASNOSTI

V současnosti má sádra ve stavebnictví široké uplatnění, lze ji použít na omítky a stěrky, dále pak jako řada sádrokartonových a sádrovláknitých systémů, suché sádrokartonové podhledy a stropy, samonivelační podlahy, akustické a designové příčky, předsazené a šachtové stěny.

10.1 Sádrokartonové konstrukce

Sádrokarton jsou prakticky lehké, sádrové vrstvy na okrajích obaleny izolační vrstvou velice podobnou papíru. Sádrokarton je nejsnadnějším řešením takzvaného suchého způsobu zdění. Díky němu lze jednoduše stavět příčky, ale i celkově rekonstruovat, zateplovat či jinak upravovat interiér.

Sádrokartonové desky mají několik velice výhodných vlastností, zejména z důvodu, že sádra umí regulovat vlhkost v místnosti a funguje také jako tepelná a zvuková izolace. Díky několika různým variantám, ve kterých se sádrokarton vyrábí, je také jeho použití velice rozmanité. Ať už klasický sádrokarton, který je nejvhodnější na budování jednoduchých příček a širokého využití nalezne i při stavbě podkroví, tak sádrokarton voděodolný a protipožární.

Voděodolný sádrokarton má vnější izolační vrstvu tvořenou voděodolnou fólií. Díky této fólii odolává daleko vyšší vlhkosti než sádrokarton klasický. Využití potom nalézá při stavbách a rekonstrukcích koupelen a kuchyní. Při budování koupelen se dokonce často doporučuje obložit zeď před položení kachlíček ještě sádrokartonovou deskou, právě kvůli její voděodolnosti.

Velkou výhodou sádrokartonu je dále jeho snadná tvarovatelnost.

Sádrokarton se během několika let, co je vyráběn stal velice oblíbeným materiálem, který rádi využívají nejen kutilové, ale i profesionální firmy. Vybudoval si tak poměrně silnou pozici na trhu a stal se nedílnou součástí moderního stavebnictví.

10.1.1 Sádrokartonové desky

Sádrokartonové desky jsou desky velkého formátu, které se skládají ze sádrového jádra, opláštěného speciálním kartonem. Karton na lícové straně je pevnější a světlejší než na rubové straně.

10.1.2 Technologie výroby sádrokartonových desek

Prášková sádra se odebírá šnekovým dopravníkem ze zásobníku a vážícím zařízením se přesně dávkuje do míchačky. Na cestě do míchačky se přidávají přísady např.: sekané skelné vlákno, tvrdidlo, urychlovače a jiné. Do míchačky se dávkuje studená voda. V míchačce se komponenty smíchají a sádrová kaše se vypouští do koryta, které tvoří na krajích vytvarovaný lícový karton odvíjený z cívky. Rubový karton přichází z cívky a uzavírá sádrovou kaši shora. Kraje rubového kartonu se přilepují na kraje lícového kartonu zařízením. Jádro sádrokartonu se tvaruje pomocí spodních a horních válců v prostoru. Sádrové jádro tuhne na dopravníku. Na konci dopravníku jsou instalovány stříhací nůžky, které nekonečný pás oddělí na požadovanou délku. Před dělením pásu dojde k potisku technickými informacemi. Profil sádrokartonové desky prochází přes kalibrační pravítka a na transportním pásu je unášen k dělicím nůžkám. Následuje sušení v sušičce, kde se desky zbavují nadměrné vlhkosti. Následně dochází k přesnému dorovnání délky pomocí frézovacího zařízení. Na konci linky je paletizace a odvoz desek do skladu. [8]

10.1.3 Výhody použití sádrokartonových desek na podlahy

- Suchý proces montáže
- Při montáži podlah není do objektu vnášena dodatečná vlhkost
- Různé varianty skladeb podlah. Výškové vyrovnání nerovností podsypem nebo pomocí samonivelační stěrky. Vyřešení tepelné izolace pěnovým polystyrenem. Zlepšení kročejové neprůzvučnosti dřevovláknitou deskou.
- Vysoká mechanická odolnost.
- Vydrží zátěž kolečkových židlí, aniž by byly nutné dodatečné úpravy povrchu.
- Rychlost výstavby.

-Díky jednoduchému skládání prefabrikovaných podlahových dílců se významně zkracuje čas výstavby. Podlahy jsou ihned pochozí. Zhruba 24 hodin po montáži je možno klást podlahové krytiny.

- Použití do prostor se zvýšenou vzdušnou vlhkostí.
- Snese až 90 % přerušované vlhkosti – například v koupelnách. V místech přímého styku s vodou (např. sprchový kout) je nutno desky opatřit tekutou hydroizolací.

10.1.4 Sádrokartonové podhledy a stropy

Sádrokarton není využitelný v nosných stropních konstrukcích, ovšem pro případy stropních podhledů a obložení stropů podkrovního interiéru se hodí ideálně. Většinou však konstrukce obkladů stropů slouží k zakrytí poškozených míst stávajícího stropu (kromě podkroví), nebo nahrazují omítky.

Přitom nám zavěšené podhledy umožní stropy snížit a navíc se usnadní vedení instalací. Je-li jako izolace použita minerální vlna, výrazně se zlepší i celkové izolační vlastnosti interiéru. Podhledové systémy lze umístit na jakýkoli nosný strop. Mohou sloužit i jako základ pro konečné povrchové úpravy (malba, štuky, tapety). Dalším možným řešením jsou akustické kazetové stropní podhledy. Ty jsou demontovatelné. Jejich základní modulový rozměr činí 600 x 600 mm a liší se provedeními hran kazet.

V případě opláštění šikmých stropů a střech se musí zajistit dostatečná tepelná izolace, ochrana proti vlhkosti, požáru a hluku. Je proto nutné, nejen účelné, izolovat a deskami zevnitř následně obložit celou šikmou střechu.

10.1.5 Druhy a označení sádrokartonu

Sádrokartonové desky rozdělujeme na čtyři základní skupiny podle jejich vlastností a jejich využití. Základním druhem sádrokartonových stavebních desek jsou bílé sádrokartonové desky. Tento druh stavebních desek lze využít jak k tvorbě vnitřních sádrokartonových příček, tak i k obkladům vnitřních stěn či k tvorbě podhledů ze sádrokartonu. Tento druh sádrokartonu je označován RB.

Dalším typem stavebních desek jsou desky, jež mají standardně zelenou barvu a jsou označovány jako RBI. Písmeno „i” v názvu tohoto typu sádrokartonu znamená impregnaci, z čehož vyplývá, že je tento typ použitelný

do prostředí se zvýšenou vlhkostí. Impregnovaný zelený sádrokarton se využívá především k tvorbě příček a stropů v koupelnách, kuchyních a všude tam kde by klasické desky ze sádrokartonu byly poškozené nadměrným působením vlhkosti vzduchu.

Třetím typem stavebních desek ze sádrokartonu jsou desky vyrábějící se nejčastěji v barvě červené nebo růžové a nesou označení RF. Tento druh sádrokartonu má zvýšenou protipožární odolnost oproti klasickým typům stavebních sádrokartonových desek.

Posledním druhem sádrokartonových stavebních desek jsou desky značené jako RFI. Tyto desky jsou stejně jako předchozí druh vyrobené tak, aby splňovaly zvýšené nároky na požární odolnost, jsou však zároveň i použitelné do prostředí se zvýšenou vlhkostí vzduchu. Jejich použití je pak časté například v kuchyních kde je zvýšená vlhkost a zároveň je zapotřebí stavební zachovat protipožární odolnost.

10.1.6 Doprava a skladování

Sádrokartonové desky se dopravují na dřevěných paletách po 40 nebo 50 kusech. Dpravují se krytými dopravními prostředky. Pokud je dopravní prostředek nekrytý je nutno desky překrýt vodonepropustnou fólií. Na stavbě se desky skladují nalezato na rovnou plochu na palety. Nesmí se skladovat ve svislé poloze. Při manipulaci dáváme pozor na poškození rohů a poškození lícové strany desky. Práce s deskami má začít tehdy, až se desky aklimatizují, tzn. vyrovná se teplota a vlhkost, tj cca po dvou dnech uskladnění. Teplota na pracovišti nesmí klesnout pod 10°C.

10.1.7 Druhy konstrukcí ze sádrokartonu

Příčky - nenosné stěny, které rozdělují prostor domu nebo bytu na jednotlivé místnosti.

Podhledy - lehké zavěšené konstrukce pod nosným stropem, které zakrývají členitost nosného stropu, nebo snižují nosný strop. Podhledy mohou zakrývat vedení různých instalací pod stropní konstrukcí.

Předsazená stěna - lehká stěna , která je postavena před stávající, zlepšuje parametry stávající stěny, popřípadě zakrývá rozvody.

Šachtová stěna - varianta předsazené stěny, která se používá k obezdění nejrůznějších šachet, umožňující opláštění deskami pouze z jedné strany.

Instalační příčka - to příčka, která má uvnitř dutý prostor, který bude sloužit k vedení domovních instalací.

Suchá omítka - místo klasické omítky lze na stěnu nalepit sádrokartonové desky speciálním lepidlem a tím vyloučit mokré procesy.

Lehká sádrokartonová plovoucí podlaha - podlaha položená na vrstvu tepelné a zvukové izolace a tvoří podklad pod nášlapnou vrstvou jako je koberec, dlažba, parkety. [8]

10.2 Sádrovláknité konstrukce

10.2.1 Sádrovláknité desky

Základní surovinou je sádra s rozvlákněným starým papírem. Na jejich povrchu není karton. Desky jsou robustní a lépe odolávají mechanickému poškození. Hrany jsou řezané. Práce s těmito deskami jsou obtížnější. Svými vlastnostmi jsou předurčeny pro suché podlahy a mechanicky odolné příčky a konstrukce.[9]

10.2.2 Technologie výroby sádrovláknitých desek

Nejprve je starý papír dopravován na třídící linku, kde se z něj pomocí magnetů vytřídí případné kovy. Vytříděný papír se zpracuje v mlýnech na celulózu vlákna, která se za sucha smíchají se sádrou v poměru 20 % papíru a 80 % sádry. [9]

Vlákna ve směsi vytvářejí pevnou vazbu, obdobně jako u železobetonu armovací pruty. Tímto jednoduchým způsobem se sádra zpevní, a to nejen na povrchu, ale v celém svém průřezu. Materiál je tak tvrdší, má vyšší objemovou hmotnost, vyšší požární odolnost a lepší akustické parametry - to vše bez dalších chemických přísad. Proces výroby sádrovláknitých desek pokračuje po promíchání sádry a papírových vláken nanášením této suché směsi na výrobní pás za kontinuálního provlhčování. Lisováním směsi za tlaku 600 atm a následným vysušením v sušicích boxech při 200 °C, následuje impregnace prováděná další přírodní surovinou - bramborovým škrobem. Výroba končí oříznutím na potřebné formáty. Ve výrobě se za jeden den vyrobí v průměru

100 000 m² desek, na něž je zapotřebí tisíc tun materiálu (800 t sádry a 200 t papíru).

Způsob výroby, při níž sádra reagující s vodou proniká do vláken a obalí je, zaručuje sádrovláknitým deskám stabilitu a nehořlavost.[9]

10.2.3 Vlastnosti sádrovláknitých desek

- statické - jako nosný prvek dřevěných sendvičových konstrukcí
- pevnostní - zvýšení pevnosti a únosnosti nenosných dělicích příček
- protipožární - zvýšení požární odolnosti stěn, podlah, stropů a podhledů
- akustické - zlepšení akustických vlastností stěn, podlah a stropů
- desky regulující vlhkost v interiéru
- desky vhodné do vlhkých prostor

10.2.4 Použití sádrovláknitých desek

- pro montáž dělicích nosných nebo nenosných příček a předsazených stěn
- pro montáž zavěšených podhledů
- pro montáž nosných stropních konstrukcí
- pro montáž podlahových systémů

10.3 Srovnání sádrokartonových a sádrovláknitých desek

Základní rozdíl mezi sádrokartonem a sádrovláknem je v technologii výroby - sádrokarton je sádra obalená papírem a sádrovlákno je sádra armovaná celulóзовými vlákny.

Sádrovláknitá deska je dokonale homogenní (v každém bodě průřezu má stejné vlastnosti), s objemovou hmotností 1150 kg/m³, sádrokarton podle označení od 640 kg/m³ u obyčejné desky, až do 900 kg/m³ u protipožární impregnované desky. Od objemové hmotnosti se odvíjejí lepší protipožární a vlastnosti sádrovláknitých desek. Sádrovláknité desky jsou výrazně tvrdší, pevnější a jsou odolnější proti proražení proti sádrokartonovým deskám. [8]

II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce byla studie možné přípravy vysokohodnotného síranového pojiva na bázi beta sádry, která se v důsledku svojí morfologie vyznačuje jen velmi nízkými pevnostmi. Určitou možností, jak tento negativní vliv eliminovat, je ztekucení sádry, které je však obecně velmi nesnadné.

1. METODIKA PRÁCE

Experimentální práce, realizované v rámci shora uvedeného zadání, byly rozděleny do dvou etap. První etapa byla zaměřena na vyhledání vhodných surovinových zdrojů, s přednostní orientací na sekundární surovinové zdroje včetně stanovení základních technických parametrů zvoleného sádrovce. Ve druhé etapě byl uskutečněn výpal beta sádry a její modifikace vhodnými přísadami.

1.1 Stávající tuzemské surovinové zdroje

V rámci této etapy byla uskutečněna podrobná rešerše možných surovinových zdrojů na území České republiky a rovněž na území Slovenské republiky. Sledována byla geneze zdroje, jeho charakteristika, dostupnost, výtěžnost, roční produkce, event. další.

U surovinového zdroje, vybraného jako nejvhodnější z hlediska kvality i dostupnosti dané suroviny, byl proveden odběr vzorku, který byl podroben základním chemickým a fyzikálním zkouškám.

1.2 Příprava a modifikace vlastností beta sádry

Na základě vyhodnocení vhodnosti surovinového zdroje byla z vybraného sádrovce laboratorně vypálena beta sádra, a to jednak za teploty 150°C, běžné pro kalcinaci v laboratorní sušárně, a dále za teploty 105°C, odpovídající poměrům na studeném konci rotačních sušáren, které lze využít

pro výrobu beta sádry. Jelikož laboratorním postupem získané výsledky byly velmi příznivé, přistoupilo se dále i k poloprovoznímu výpalu beta sádry. Vzniklý produkt byl dále podroben stanovení mineralogického složení a základním technologickým zkouškám.

Navazujícím a hlavním předmětem experimentálních prací byla modifikace vlastností vypálené beta sádry za účelem zvýšení jejích pevností. Morfologie beta sádry se na rozdíl od alfa sádry vyznačuje hypautomorfními až zcela xenomorfními laminárními zrny, přičemž přímým důsledkem této morfologie je vysoká spotřeba záměsové vody na sádrovou kaši normální konzistence. Jelikož spotřeba záměsové vody u síranových pojiv ovlivňuje dosahované pevnosti v takřka lineární závislosti, je jasné, že nemodifikovaná beta sádra má pevnosti jen velmi nízké. Pokud by se však podařilo beta sádru výrazně ztekutit, existuje reálný předpoklad, že i její pevnosti by se výrazně zvýšily. Na základě této úvahy byla modifikace beta sádry přednostně orientována na vyhledání takové přísady, která by účinně a bez vedlejších negativních projevů ztekutila sádrovou kaši, a tím přispěla ke zvýšení pevností.

2. POSTUP PRÁCE

2.1 Stávající tuzemské surovinové zdroje

Po vyhodnocení výsledků rešerše byl ve druhém kvartálu r. 2011 odebrán vzorek chemosádrovce Pregips z provozovny firmy Rosomac v kamenolomu Lomnička u Tišnova.

Vzorek, odebraný v množství cca 50 kg, byl po kvartaci podroben jednak chemické analýze v laboratořích VUMO Praha, dále mineralogické analýze a zkouškám fyzikálně chemických vlastností v laboratořích ÚTHD FAST VUT Brno.

Mineralogický rozbor byl uskutečněn RTG-difrakční analýzou za podmínek:

Použité záření: CuK α

Napětí/proud: 40 kV/25 mA

Skannovací rychlost: 2° 2θ/min

Vyhodnocení: dle kartotéky ASTM

Fyzikálně chemické zkoušky byly uskutečněny v souladu s příslušnými normovými postupy:

ČSN EN 13279-2: Sádrová pojiva a sádrové malty pro vnitřní omítky – Část 2: Zkušební metody

ČSN EN 1015-3: Zkušební metody malt pro zdivo – Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty

ČSN EN 1015-10: Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty

ČSN EN 1015-11: Zkušební metody malt pro zdivo – Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku

2.2 Příprava a modifikace vlastností beta sádry

Laboratorně byla beta sádra připravována dehydratací sádrovce v horkovzdušné laboratorní sušárně. Kontrola úplné přeměny dihydrátu na hemihydrát byla uskutečněna prostřednictvím stanovení mineralogického složení vzorku, odebíraného ze sušárny v předem zvolených časových intervalech. Mineralogické složení bylo sledováno pomocí RTG-difrakční analýzy za shora uvedených podmínek.

Poloprovozní výpal beta-sádry byl uskutečněn na technologické lince firmy Rosomac, primárně používané k sušení kameniva. Kontrola úplné přeměny dihydrátu na hemihydrát byla v tomto případě realizována stanovením ztráty žíháním vzniklého produktu, která přímo odpovídá aktuálnímu obsahu hydrátové vody v daném produktu. Během poloprovozní zkoušky byly dále uskutečněny odběry vzorků ke stanovení mineralogického složení meziprojektu i konečného produktu, u něhož byl pomocí vážkové analýzy dále stanoven obsah hemihydrátu a zbytkového dihydrátu, jakož i normou sledované technologické vlastnosti.

Připravená beta sádra byla v dalším modifikována vybranými plastifikátory a poté podrobena základním technologickým zkouškám.

K modifikaci sádry byly použity plastifikátory na bázi ligninsulfonanů, melaminformaldehydových pryskyřic a dalších, které jsou přednostně používány k plastifikaci cementových malt a betonů. Uvedené plastifikátory byly použity z toho důvodu, že přísady, přímo určené ke ztekucení sádrové kaše, nejsou známy. Z téhož důvodu byly pro první orientační posouzení účinnosti ztekucovacího efektu všechny přísady, bez ohledu na skupenský stav, dávkovány v jednotné řadě koncentrací, a to 0%, 0,5%, 1% a 3% hm. vztaženo na hmotnost sádry.

Dávkování suchých a kapalných plastifikačních přísad probíhalo odlišným způsobem. Suché plastifikátory byly v odváženém množství nadávkovány přímo do sádry, se kterou byly následně důkladně zhomogenizovány, kdežto kapalně plastifikační přísady byly v odváženém množství dávkovány přímo do záměsové vody.

Modifikované vzorky sádry, stejně jako referenční nemodifikovaná sádra, byly poté podrobeny základním technologickým zkouškám, konkrétně stanovení normální konzistence sádrové kaše, stanovení počátku a doby tuhnutí, objemové hmotnosti a pevnostním zkouškám. Zkoušky byly realizovány normovými postupy, viz výše, oproti normovým postupům byly zkoušky pevností a objemové hmotnosti rozšířeny na stanovení pod době 3, 7, 14 a 28 dnů expozice vzorků v laboratorním prostředí. Zbytky trámeček po pevnostních zkouškách byly dále použity ke sledování hydratačního procesu sádrové kaše metodou RTG-difrakční analýzy, viz výše.

3. POUŽITÉ SUROVINY

3.1 Chemosádrovec Pregips

Pro laboratorní experimentální práce byl použit chemosádrovec Pregips výrobce Precheza Přerov a.s. Způsob výroby je popsán v kapitole 5.1.2.2 Zdroje chemosádrovce. Mineralogické složení použitého chemosádrovce je

uvedeno na obr.13 v kapitole 5.1.3 Vlastnosti vybraného sádrovce, ve stejné kapitole se nachází i chemické složení a fyzikálně chemické vlastnosti v tab.3.

3.2 Citran sodný

Při zjišťování vodního součinitele pro přípravu kaše normální konzistence byl použit retardační roztok ve formě 1% vodného roztoku dihydrátu citranu sodného $C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$. K použití tohoto roztoku bylo přistoupeno z důvodu potenciálního navýšení vodního součinitele předčasným tuhnutím sádry.

3.3 Beta sádra

Sádra je anorganické práškové pojivo získané tepelným zpracováním sádrovce $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (dihydrátu) částečným nebo úplným odvodněním nebo připravená z přírodního anhydritu $CaSO_4$ (bezvodého síranu vápenatého).

Sádrovec pro její výrobu má být nejlépe tvrdý amorfni s obsahem přes 90 % $CaSO_4$.

Řadíme ji mezi pojiva vzdušná i přesto, že může zatvrdnout i pod vodou, avšak nedává v tomto prostředí trvalé spojení.

Pro praktickou část diplomové práce bylo použito beta sádry vyrobené poloprovazně na sušící lince firmy Rosomac.

3.4 Plastifikátor Sika

Plastifikátor Sika je práškový materiál bílé barvy na bázi polymerkarboxylátů.

3.5 Plastifikátor Melment F10

Melment F10 je práškový produkt bílé barvy, vyráběný sušením v paprsku, na bázi sulfonovaného polykondenzačního produktu Melaminu. Vyznačuje se vynikající ztekucovací schopností. Hodí se zejména ke ztekucování a redukci dávky vody všech stavebních hmot s pojivem na bázi

cementu a sádrovce. Jeho sypná hmotnost se pohybuje v rozmezí 45 až 75g/100 cm³.

3.6 Plastifikátor Chryso Fluid GT

Chryso Fluid GT je silně vodu redukující plastifikační přísada vyrobená na bázi polymelaminů. Účinně disperguje jemné částice v čerstvém stavu, čímž se výrazně zvyšuje zpracovatelnost. Ovlivňuje hydratační reakce a pomocí podstatného snížení záměsové vody umožňuje rychlé zvýšení počátečních krátkodobých pevností. Jedná se o fialovou kapalinu, jejíž hustota při 20°C je 1150 kg/m³, obsah chloridů nepřesahuje hodnotu 0,1% a pH se pohybuje okolo 9,5, obsah sušiny je 30%.

3.7 Plastifikátor Biotech

Plastifikátor Biotech je hnědý prášek, jehož dávkování je doporučeno v rozmezí 0,3 až 0,6% hm.

3.8 Plastifikátor Stachement 6358

Plastifikátor Stachement 6358 je černohnědá homogenní kapalina s hustotou přibližně 1055 kg/m³, obsah sušiny se pohybuje okolo 25% a pH dosahuje hodnot od 5 po 7, obsah chloridů nepřesahuje 0,1%. Jedná se o přísadu na bázi polykarboxylátů s vysokým plastifikačním účinkem, který přetrvává delší dobu než u běžně používaných plastifikátorů.

3.9 Plastifikátor Sika ViscoCrete 1035

V případě plastifikátoru Sika ViscoCrete 1035 se jedná o hnědou kapalinu, jejíž chemickou podstatou je polykarboxylát eter. Hustota této přísady

je 1070 kg/m^3 , obsah sušiny 30% a pH přibližně 4. V běžné praxi se používá zejména pro transportbetony a vysoce pevnostní betony.

3.10 Plastifikátor Sikament Multimix-100

Tekutý plastifikátor Sikament Multimix-100 hnědé barvy je na bázi modifikovaných lignin-sulfonátů v kombinaci s melaminsulfonáty a má hustotu 1200 kg/m^3 . Redukuje množství vody až o 15% při zachování snadné zpracovatelnosti.

3.11 Plastifikátor Stacheplast

Stacheplast je plastifikační přísada vyrobená na bázi lignosulfonátů, vhodná především pro transportbeton. Jedná se o tmavohnědou homogenní kapalinu s obsahem sušiny asi 40%, jejíž hustota je 1210 kg/m^3 . Hodnota pH je v rozmezí 8 až 11,5, maximální obsah chloridů pod 0,1%.

4. POUŽITÉ PŘÍSTROJE A VYBAVENÍ

V práci byly použity přístroje a aparatury laboratoří ÚTHD FAST VUT Brno. Sušení vzorků bylo prováděno v laboratorní sušárně s nastavitelnou teplotou v rozmezí 50 až 220°C , která je vybavena nuceným oběhem vzduchu. Vážení probíhalo na laboratorních vahách Kern s váživostí 0 až 600 g s přesností 0,01g a dále pak na laboratorních vahách s váživostí 0 až 2200 g a přesností 1g. Počátek a doba tuhnutí byla zjišťována na Vicatově přístroji viz obr.11 a normální konzistence byla zjišťována pomocí zařízení na stanovení rozlití kaše normální konzistence viz obr. 12. Trámečky byly zaformovány do ocelových trojforem na zkoušení maltovin normových rozměrů 40 x 40 x 160 mm. Pevnosti zkušebních trámečků v tahu za ohybu a v tlaku byly zjišťovány na laboratorním lisu akreditované zkušební laboratoře stavebních hmot při ÚTHD.



Obr.11: Vicatův přístroj



Obr.12: Zařízení na zjišťování kaše normální konzistence

5. VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK

5.1 Stávající tuzemské surovinové zdroje

Získané výsledky poukazují na to, že v současné době vykazuje Česká republika, narozdíl od let minulých, dostatek surovinových zdrojů na výrobu síranových pojiv. Jde o surovinu výhradně na bázi dihydrátu síranu vápenatého, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, sádrovce, kterou dle její geneze lze rozdělit na dvě níže uvedené kategorie.

5.1.1 Sádrovec přírodní

Přírodní sádrovec se u nás nalézá pouze v lokalitě Kobeřice na Opavsku. Co do geologické a genealogické specifikace se jedná o výběžek polské pánve, ve které se sádrovec vyskytuje jako tzv. primární, vzniklý evaporací slaných vod. V ložisku je sedimentovaný sádrovec zastoupen ve třech vrstvách, ve kterých se dle místa uložení kombinuje především se šedými jíly.

V současné době je toto ložisko přírodního sádrovce již poměrně značně vyčerpáno, stále je však těženo a zpracováváno na tzv. šedou sáдру. Těžba a zpracování tohoto sádrovce je realizována výhradně firmou Gypstrend, s.r.o., která má svoje vlastní výzkumně vývojové zázemí, a proto tento sádrovec není pro obecné tuzemské využití dostupný.

5.1.2 Sádrovce průmyslové

5.1.2.1 Zdroje energosádrovce

Desulfatace mokrou vypírkou, při níž energosádrovec vzniká, je dnes realizována ve většině našich tepelných elektráren, jmenovitě Počerady, Mělník, Chvaletice, Dětmarovice, Pruněřov, Tisová, Tušimice, Opatovice, na Slovensku v elektrárnách Nováky a Vojany.

Roční produkce vzniklého energosádrovce se v jednotlivých elektrárnách pohybuje kolem 250 kt.

Pouze ve dvou elektrárnách je energosádrovec dále zpracováván na síranové pojivo. Jde jednak o elektrárnu Počerady, která současně s desulfatační technologií vybudovala závod na zpracování sádrovce na sádro. Krátce poté vybudovala při této sádrárně firma Knauf závod na výrobu sádrokartonu a posléze též odkoupila od ČEZu samotnou sádrárnu. Obdobný způsob využití je realizován v elektrárně Mělník, kde partnerem je firma Rigips. V obou případech je produkce energosádrovce zpracovávána těmito nadnárodními společnostmi, a pro obecné tuzemské využití na výrobu síranových pojiv není dostupná.

Další možný způsob využití energosádrovce, resp. z něj vyrobené sádry, pro výrobu suchých omítkových směsí, je v současné době zvažován v elektrárně Prunéřov.

V ostatních elektrárnách je sádrovec povětšinou ukládán na skládky jako tzv. stabilizát a zčásti dodáván do cementáren jako regulátor tuhnutí, viz [tab. 2](#).

Energosádrovce se vyznačují vysokým obsahem $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, zpravidla převyšujícím 95%, a krémovou až nahnědlou barvou po kyselinách huminových ze zbytkových zplodin hoření paliva. Pokud toto zbarvení není na závadu, jakož i obchodní, smluvní a právní otázky, spojené s jeho volným prodejem příslušnými elektrárnami, jsou energosádrovce vysoce kvalitním surovinovým zdrojem, obecně využitelným pro výrobu síranových pojiv.

Tab.2: Mokr  v pencov  vypírka v  R

�.	Provozovatel kotle	Odsiřování výkon [MW _e]	Druh produktů
1.	�EZ a.s. elektrárna Dětmarovice	4x200	Selektivn� zachycování filtr. popílek a struska, odvodn�n� energosádrovec � optim�ln� vlh�en� stabilizát, mořnost such� expedice VEP
2.	�EZ a.s. elektrárna Chvaletice	4x200	Selektivn� zachycování filtr. popílek a struska, odvodn�n� energosádrovec � optim�ln� vlh�en� stabilizát, mořnost such� expedice VEP
3.	�EZ a.s. elektrárna Prun�řov I	4x110	Energosádrovec GAPROM
4.	�EZ a.s. elektrárna Prun�řov II	5x210	Selektivn� zachycování filtr. popílek a struska, odvodn�n� energosádrovec � optim�ln� vlh�en� stabilizát, mořnost such� expedice VEP
5.	�EZ a.s. elektrárna Počerady	3x200	Selektivn� zachycování filtr. popílek a struska, odvodn�n� energosádrovec � optim�ln� vlh�en� stabilizát, mořnost such� expedice VEP Energosádrovec - KNAUF (sádrokarton)
6.	�EZ a.s. elektrárna Počerady B5	1x200	Selektivn� zachycování filtr. popílek a struska, odvodn�n� energosádrovec � optim�ln� vlh�en� stabilizát, mořnost such� expedice VEP Energosádrovec - KNAUF (sádrokarton)
7.	�EZ a.s. elektrárna Počerady B6	1x200	Selektivn� zachycování filtr. popílek a REA produkt odsíření � optim�ln� vlh�en� stabilizát, mořnost such� expedice VEP Energosádrovec - KNAUF (sádrokarton)
8.	�EZ a.s. elektrárna Tisov� I	1x100	Selektivn� zachycování filtr. popílek a struska, odvodn�n� energosádrovec � optim�ln� vlh�en� stabilizát, mořnost such� expedice VEP
9.	�EZ a.s. elektrárna Tuřimice II	4x200	Selektivn� zachycování filtr. popílek a struska, odvodn�n� energosádrovec � optim�ln� vlh�en� stabilizát, mořnost such� expedice VEP
10.	�EZ a.s. elektrárna Mělník	1x110	Energosádrovec - RIGIPS
11.	�EZ a.s. elektrárna Mělník II,III	1x1100	Selektivn� zachycování filtr. popílek a struska, odvodn�n� energosádrovec � optim�ln� vlh�en� aglomerát, mořnost such� expedice VEP
12.	elektrárna Opatovice	1x500	Selektivn� zachycování filtr. popílek a struska, odvodn�n� energosádrovec � optim�ln� vlh�en� stabilizát, mořnost such� expedice VEP

5.1.2.2 Zdroje chemosádrovce

Jak bylo uvedeno výše, hlavním tuzemským producentem chemosádrovce je společnost Precheza. Sádrovec, získávaný zde ve druhém stupni čištění, se vyznačuje vysokou čistotou a bílou barvou. Pod obchodním názvem Pregips je dodáván do cementáren, zčásti i pro výrobu sádry (cca 3 kt/rok), zbytek je skládkován. Jeho roční produkce se pohybuje kolem 110 kt.

Produkt po prvním stupni čištění, nyní označovaný názvem Prestab, byl původním a jediným produktem desulfatace zhruba do konce devadesátých let, současně produkované množství, představující zbytkový podíl po čištění dvoustupňovém, je zcela marginální. Vedle sádrovce, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, obsahuje tento produkt až 10%-ní podíl železa ve formě nejprve zeleně zbarveného síranu železnatého, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, časem přecházejícího na červeně zbarvený $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, a dále též akcesoricky zastoupený silikofluorid sodný, Na_2SiF_6 . Vzhledem k tomuto složení a typicky načervenalé barvě byl tento produkt takřka neprodejný. Proto byl ukládán do deponií, kde se jej dle odhadu v současné době vyskytuje kolem 5 Mt, avšak i nadále zůstává v platnosti, že bez náročných technologických úprav je tento produkt k výrobě síranových pojiv nevhodný.

Sulfátová technologie byla rovněž do konce osmdesátých let používána firmou Fosfa Poštorná při výrobě kyseliny fosforečné. Při této technologii byl jako vstupní surovina používán fluorapatit dovážený z poloostrova Kola, tzv. kolský apatit, vyznačující se vysokou čistotou, který po primární reakci s kyselinou fosforečnou byl podroben rozkladu kyselinou sírovou. Vedlejší reakční produkt, sádrovec, se vyznačoval vysokou čistotou a jen akcesorickým zastoupením kyseliny silikofluoridové (do 1%), vzniklé reakcí mezi fluorovodíkem a v surovině potenciálně přítomným oxidem křemičitým. Vzhledem k tomu, že sádrovcová suspenze nenacházela odbyt, byla čerpána do deponií, kde je dodnes. Současné množství sádrovce v lagunách se odhaduje na cca 800.000 m³. Jelikož se jedná o vysoce kvalitní surovinový zdroj, ovšem poznamenaný diskutabilní přítomností H_2SiF_6 , byly v historii uložistě již opakovaně uskutečňovány zkoušky pro jeho využití. Prvním, poměrně významným odběratelem byla koncem minulého století firma Láhčené stavebné hmoty Bratislava, která jej používala při výrobě panelů. Později byl

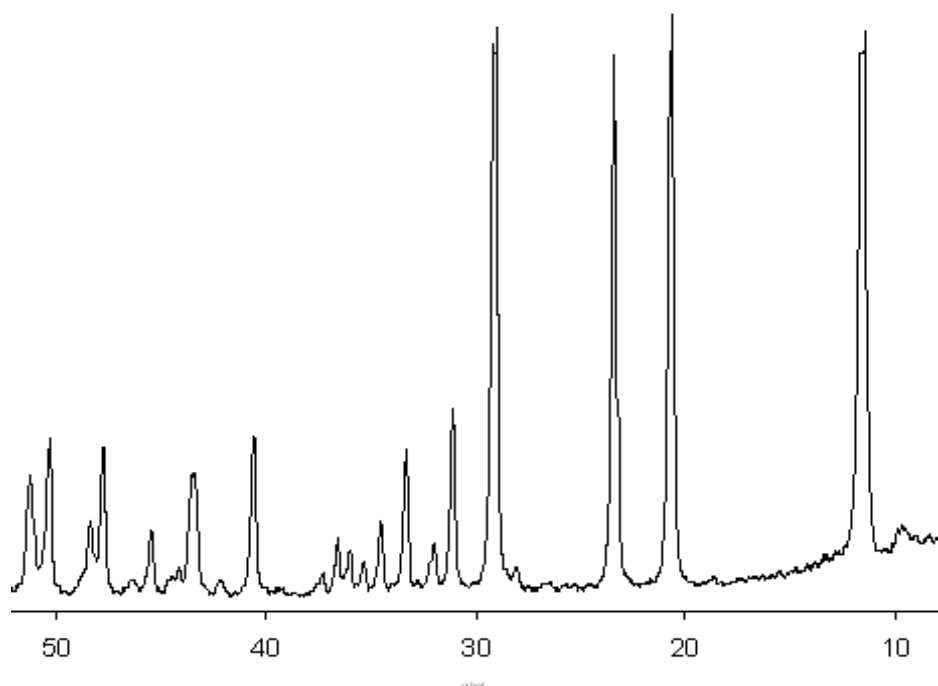
tento sádrovce postupně zkoušen firmami Ytong, Donau Gips (Rakousko) a Gypstrend, avšak žádný z těchto případů nedospěl do realizačního stádia. Nejzajímavější byla snaha blíže neupřesněného podnikatele z východních Čech o výstavbu sádrárny a vývoz stavební sádry do zahraničí. Tento podnikatelský záměr dospěl v devadesátých letech až do stádia budování areálu sádrárny včetně montáže technologie, vybudování sociálního zázemí pro zaměstnance i prvotního náboru zaměstnanců, byl však před zahájením provozu zmařen z finančních důvodů. Dodnes se zde vyskytují pozůstatky technologie, jako např. dozrávací síla či skelet výrobní haly. Sádrovec z této deponie Fosfy byl v malém množství odebrán, kalcinován v laboratorní sušárně na beta sádru, která dle provedených technologických zkoušek měla velmi dobrou kvalitu, přičemž hypotéza o nevhodném ovlivnění vlastností akcesoricky přítomnou H_2SiF_6 se nepotvrdila. Lze proto učinit závěr, že chemosádrovec Fosfa Poštorná je po chemické stránce velmi vhodnou surovinou pro výrobu síranových pojiv. Významným negativem je však v dnešní době vykazované značné zpevnění tohoto sádrovce v deponii, které by při dalším potenciálním zpracování na sádru vyžadovalo na straně úpravnictví poměrně velmi náročné těžební mechanismy (rypadla apod.) a na straně závěrečného zpracování vypálené sádry vybudování mlecí a třídící linky.

Na základě provedeného průzkumu byl jako nejvhodnější surovinový zdroj pro přípravu síranových pojiv vyhodnocen sekundárně vzniklý chemický sádrovec Pregips z Prechezy Přerov.

5.1.3 Vlastnosti vybraného sádrovce

Vzorek sádrovce Pregips byl pro stanovení jeho vlastností odebrán přímo v závodě Precheza Přerov počátkem r. 2011.

Kvartací připravený vzorek sádrovce Pregips byl podroben chemickému rozboru klasickou vážkovou analýzou ve VUMO Praha, stanovení mineralogického složení, viz obr. 13, a fyzikálně chemických vlastností v laboratořích ÚTHD FAST VUT Brno a VUSTAH Brno, viz tab. 3.



Obr.13: Rentgenogram sádrovce Pregips

Tab.3: Chemické složení a fyzikálně chemické vlastnosti sádrovce Pregips

Složka	Obsah [%]	Sledovaný parametr	Hodnota
CaO	32,12	Vlhkost [%]	11
SO ₃ síran	45,88	Hm.akt. Ra ²²⁶ [Bq.kg ⁻¹]	13
ZŽ 100-200°C	20,65	Index hm. aktivity [-]	0,14
SiO ₂	0,29	Bělost	72,2
TiO ₂	0,22	Zbytek na síť [%]	0
MgO	0,001	0,2 mm	
Na ₂ O	0,011	0,09 mm	0,12
Cl ⁻	0,002	0,06 mm	0,22
CaCO ₃	0,15	pH	7,6
Al ₂ O ₃	0,09		
Fe ₂ O ₃	0,07		
K ₂ O	0,001		
Celkem	99,475		

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat:

- jediným minerálem, identifikovatelným pomocí RTG-difrakční analýzy, byl sádrovec ($d_{hkl} = 7.55, 4.21 \text{ \AA}$)
- chemickou analýzou stanovený obsah $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ činil 98,6%, ostatní složky byly zastoupeny v množství desetin a setin procenta. Chemosádrovec Pregips tedy představuje surovinový zdroj vysoké čistoty, jen s nepatrným množstvím akcesorických složek
- zbytky na zvolených sítích byly zcela minimální, což odpovídá skutečnosti, že sádrovec Pregips, vznikající srážecími reakcemi, je vysoce jemnozrnný
- díky velice nízkému obsahu Fe_2O_3 se sádrovec Pregips vyznačuje bílou barvou, která sice není spojena s jeho technologickými vlastnostmi, ale je velmi pozitivní z komerčního hlediska
- hmotnostní aktivita Ra^{226} i index hmotnostní aktivity jsou velice nízké a zcela vyhovují požadavkům normy
- největším negativem sádrovce Pregips je z hlediska nákladů na další zpracování jeho vlhkost, která je svojí hodnotou cca 11% jen o málo nižší než hydrátová voda, uvolňující se při dehydrataci sádrovce na hemihydrát (15,6%). Jelikož molární spotřeba energie na uvolnění hydrátové vody ze sádrovce a na odpaření vlhkosti ve formě sorpční a volné vody se liší jen velmi málo, bude na výši vlhkosti záviset nejen tepelná, ale i ekonomická bilance výroby sádry z tohoto zdroje

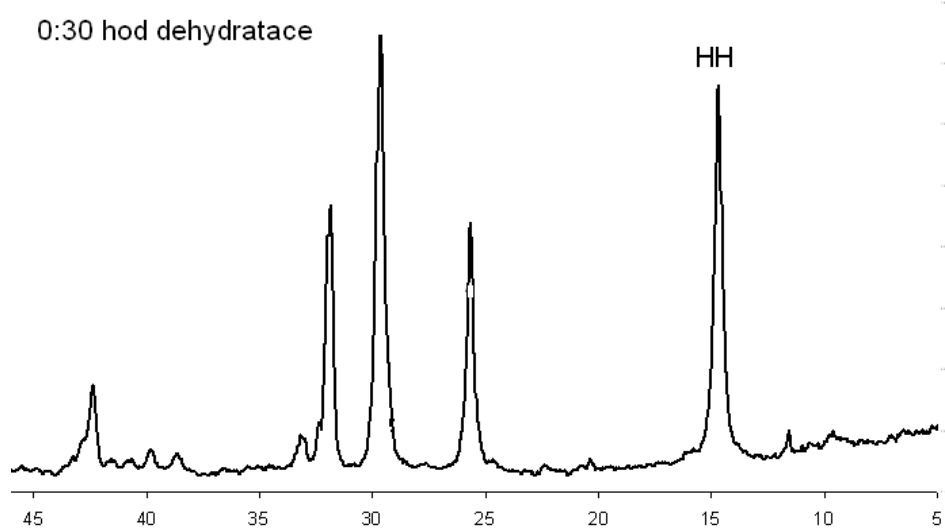
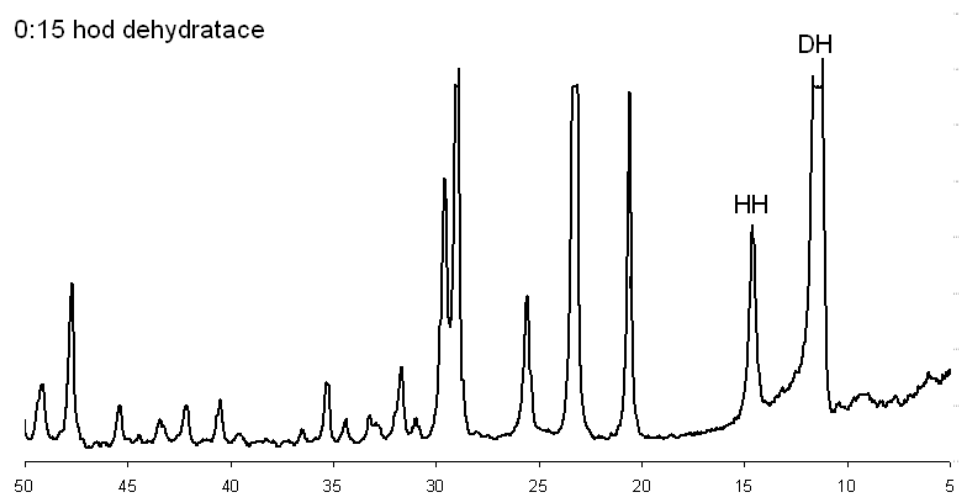
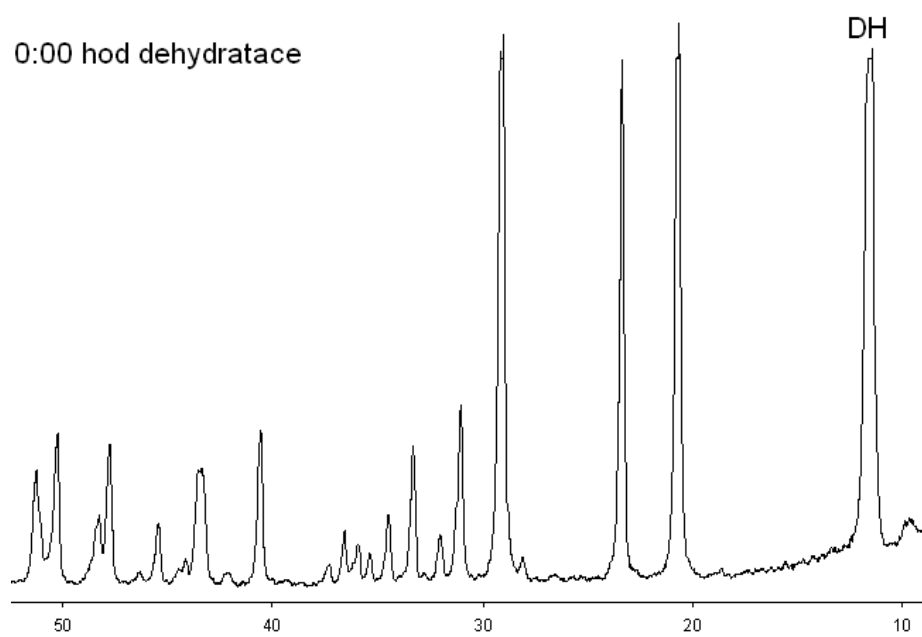
5.2 Příprava a modifikace beta sádry

5.2.1 Příprava beta sádry

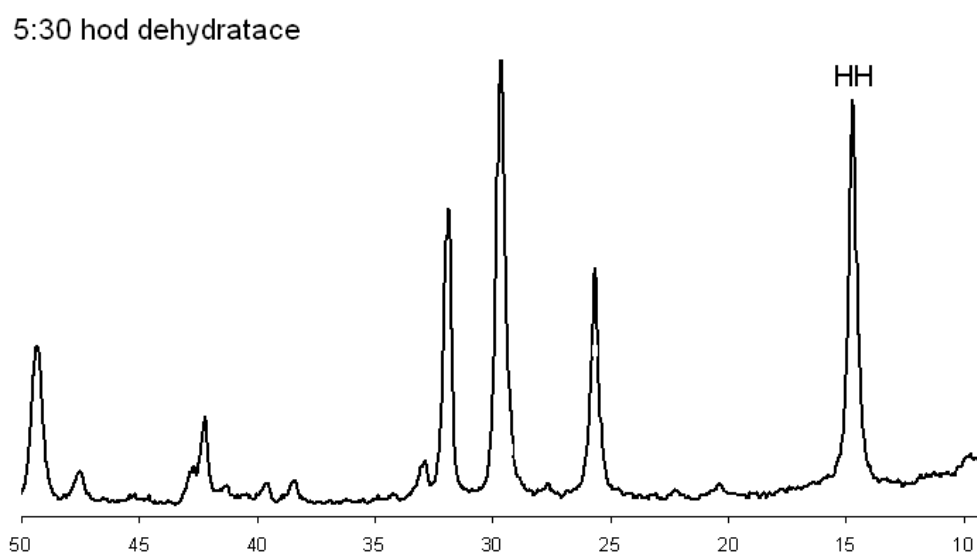
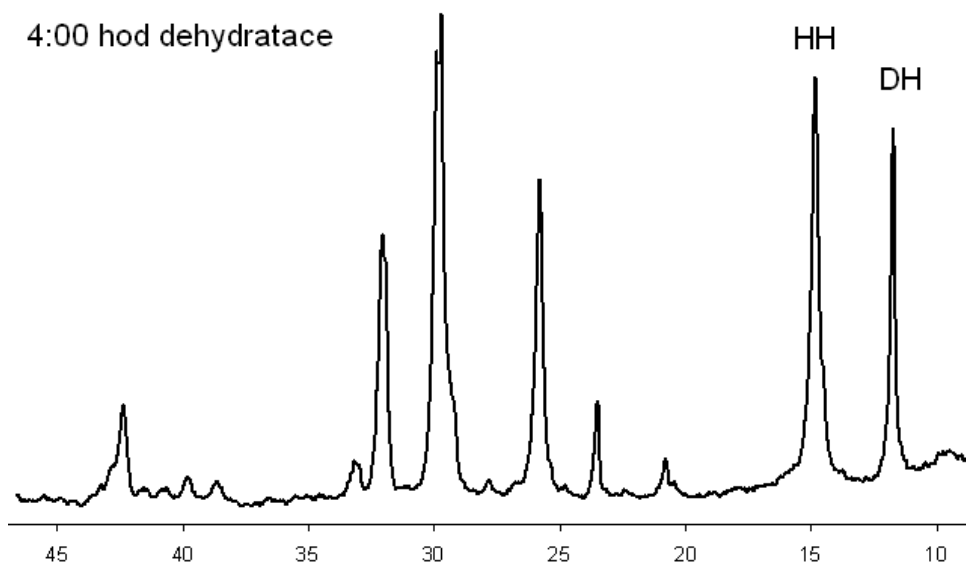
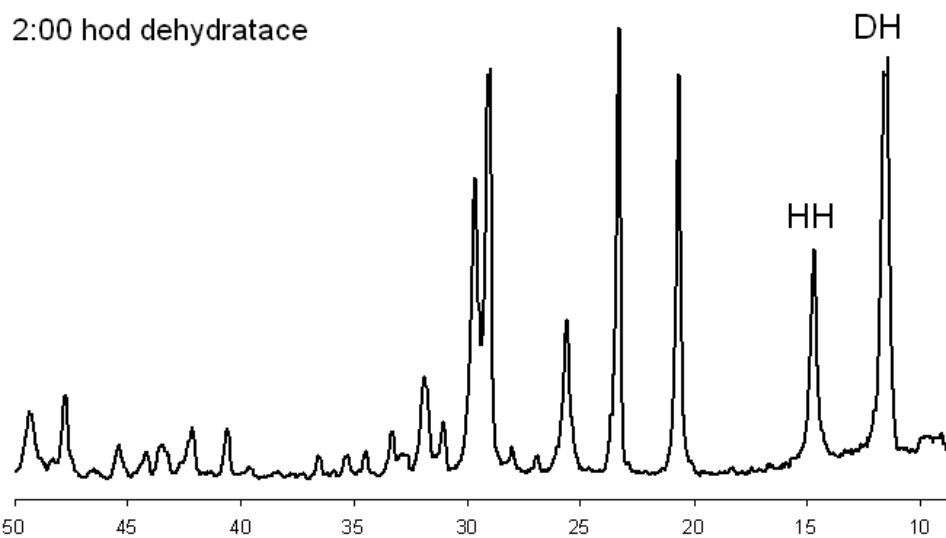
5.2.1.1 Laboratorní příprava beta sádry

Jak uvedeno výše, byly pro laboratorní přípravu beta sádry zvoleny dva teplotní režimy. První z nich představoval svojí teplotou 150°C běžné podmínky laboratorní kalcinace, druhý, vyznačující se nízkou teplotou 105°C , byl navržen kvůli ověření reálnosti převodu dehydratace do poloprovozních podmínek.

Nutná doba přeměny dihydrátu na hemihydrát byla stanovena na základě průběžného sledování mineralogického složení RTG-difrakční analýzou, viz rentgenogramy na obr.14 a 15.



Obr.14: Sádovec dehydratovaný teplotním režimem 150°C



Obr.15: Sádovec dehydrovaný teplotním režimem 105 °C

Jak vyplývá z průběhu příslušných rentgenogramů, úplná přeměna dihydrátu na hemihydrát nastane i za nízké teploty 105°C. Ovšem doba této přeměny, 5,5 hodiny, je podstatně delší než při teplotním režimu 150°C, kde činí pouze 30 minut.

Vzhledem k podmínkám poloprovozu, kde na tzv. „studeném konci“ rotační sušárny se maximální dosažitelná teplota pohybuje kolem zkoušené nízké hodnoty 105°C, lze konstatovat, že .k dehydratačnímu procesu bude využita celá délka rotační sušárny, tj. od žárového až po její studený konec.

Technologické vlastnosti obou laboratorně připravených sáder, včetně referenčního vzorku komerčně vyráběné beta sádry, uvádí tab. 4.

Tab.4: Technologické vlastnosti laboratorně dehydratované sádry

Sledovaná vlastnost	Referenční sádra	Sádra Pregips	
		150°C	105°C
Tuhnutí:			
Normální konzistence [-]	0,5	1,05	1,03
Počátek tuhnutí [m:s]	6:00	5:10	6:00
Doba tuhnutí [m:s]	12:00	7:13	8:00
Pevnosti:			
V tlaku [MPa]			
2 hodiny	1,2	1,6	1,8
3 dny	1,0	1,3	1,4
7 dnů	1,2	1,4	1,5
14 dnů	1,5	1,5	1,7
28 dnů	3,1	3,6	3,5
V tahu za ohybu [MPa]			
2 hodiny	1,0	1,0	1,0
3 dny	1,0	1,1	0,9
7 dnů	1,1	0,6	1,3
14 dnů	0,8	0,7	1,0
28 dnů	1,8	1,9	1,9
Objemová hmotnost [kg.m⁻³]			
2 hodiny	1630	1630	1625
3 dny	1335	1310	1310
7 dnů	1220	1170	1190
14 dnů	965	965	950
28 dnů	850	820	830

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat:

- vodní součinitel obou vzorků laboratorně připravené beta sádry byl vyšší než referenčního vzorku komerčně vyrobené sádry. Důvodem je to, že laboratorně připravené vzorky byly díky původu použitého sádrovce jemnozrnější
- rozdíl mezi vodním součinitelem sáder, připravených zvolenými teplotními režimy, byl v podstatě zanedbatelný, avšak nepatrně nižší hodnota u sádry vzniklé režimem 105°C svědčí o tom, že při této podstatně pomalejší kalcinaci vznikly lépe vyvinuté krystaly hemihydrátu, které jsou méně náročné na množství rozdělovací vody
- v souladu se stanovenými vodními součiniteli byly i dosažené pevnosti obou zkoušených vzorků sádry přibližně stejné. Současně však oba byly vyšší než referenčního vzorku komerčně vyráběné sádry, a to z důvodu vyšší čistoty vstupního sádrovce
- průběh objemové hmotnosti vzorků svědčí o jejich postupném vysychání při expozici v laboratorním prostředí. Je patrné, že během 28 dnů uložení se objemová hmotnost snížila až na polovinu původních hodnot, přičemž pozorovaný pokles vykázal přibližně exponenciální závislost

5.2.1.2 Poloprovozní výroba beta sádry

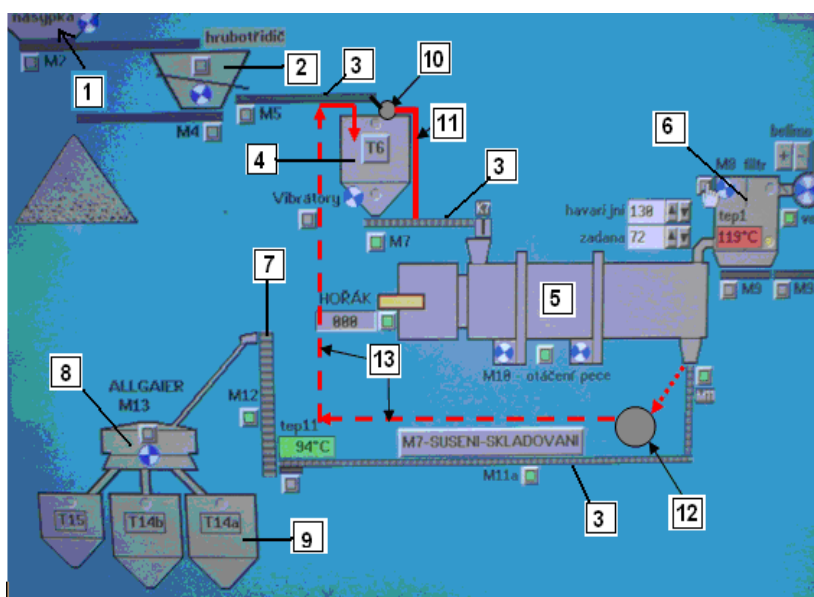
Poloprovozní zkouška byly uskutečněna na rotační sušárně v kamenolomu v Lomničce u Tišnova, viz obr. 16, za podmínek:

- teplota na výstupu z rotační sušárny: 125 až 130°C
- počet otáček rotační sušárny : 1 ot/mim
- dvojnásobný průchod sádrovce rotační sušárnou

a)



b)



Legenda:

1. Násypka
2. Primární třídíč
3. Pásový dopravník
4. Předzásobní silo
5. Rotační sušárna
6. Filtr
7. Korečkový dopravník
8. Sekundární třídíč
9. Zásobní sila
10. Šnekový dopravník
11. Bypass
12. Dopravní pneumatické zařízení SV 100
13. Pneumatická dopravní cesta

Obr.16: Rotační sušárna firmy Rosomac a) celkový pohled b) schéma sušárny

Surovina byla dávkována do násypky sušící linky, odkud postupovala pásovým dopravníkem do mezizásobníku nad rotační sušárnou. Po průchodu sušárnou byl vzorek ukládán do zásobního sila, odkud byl pro druhý průchod transportován pneumatickým dopravníkem přímo do mezizásobníku nad rotačkou.

Po obou průchodech sušárnou byl odebrán vzorek vzniklého produktu, který byl podroben stanovení mineralogického složení RTG-difrakční analýzou, viz obr. 17, po druhém průchodu též stanovení technologických vlastností, viz tab. 5, a stanovení obsahu hemihydrátu a zbytkového sádrovce z hmotnosti kalcinovaného a vyžíhaného vzorku dle vztahu:

$$DH = \frac{172}{36} \cdot \frac{(145w - 9 \cdot 100)}{(145 - 9 \cdot \frac{172}{36})}; \quad HH = 100 - DH$$

kde: DH..... obsah zbytkového sádrovce [%]

HH..... obsah vzniklého hemihydrátu [%]

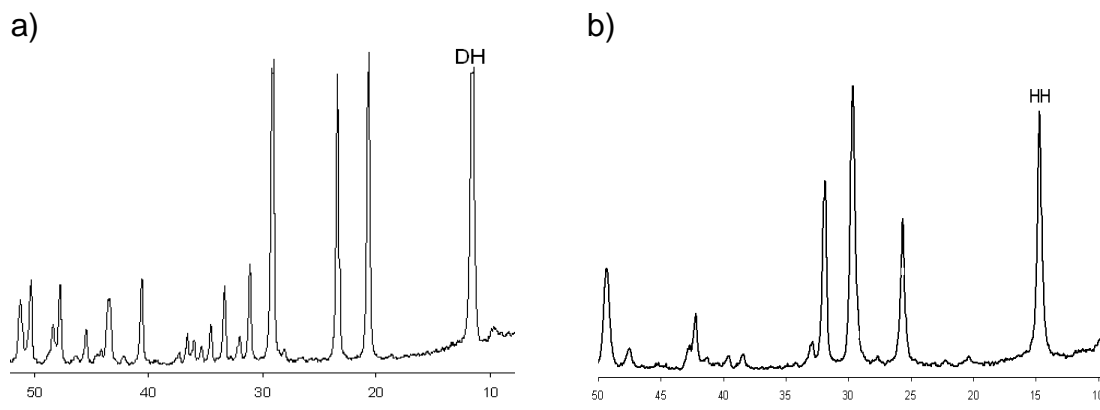
w ztráta vlhkosti žiháním [%]

Při odběru, provedeném během poloprovozní zkoušky po druhém průchodu suroviny rotační pecí, činila:

- navážka vzorku před vyžiháním $m_w = 46,14\text{g}$
- hmotnost vzorku po vyžihání při 1000°C do konstantní hmotnosti $m_s = 43,15\text{g}$.

Z nich vypočtené hodnoty byly:

- ztráta vlhkosti žiháním 6,48%
- obsah dihydrátu 1,86%
- obsah hemihydrátu 98,14%.



Obr.17: Fázové složení produktu a) po prvním průchodu b) po druhém průchodu sušárnou

Tab.5: Technologické vlastnosti poloprovozně vyrobené sádry

Sledovaná vlastnost	referenční sádra	sádra Pregips
Tuhnutí:		
Normální konzistence [-]	0,8	1,05
Počátek tuhnutí [m:s]	6:00	5:08
Doba tuhnutí [m:s]	12:00	7:10
Pevnosti:		
V tlaku [MPa]		
2 hodiny	1,2	2,2
3 dny	1,0	1,1
7 dnů	1,2	1,4
14 dnů	1,5	1,1
28 dnů	3,1	3,6
V tahu za ohybu [MPa]		
2 hodiny	1,0	1,6
3 dny	1,0	1,0
7 dnů	1,1	0,6
14 dnů	0,8	0,7
28 dnů	1,8	1,9
Objemová hmotnost [kg.m⁻³]		
2 hodiny	1630	1620
3 dny	1340	1310
7 dnů	1220	1180
14 dnů	970	960
28 dnů	850	830

Jak je z výsledků patrné, první průchod rotační sušárnou vedl prakticky jen k vysušení sádrovce, a teprve během druhého průchodu došlo k jeho dehydrataci. Přitom vzniklý produkt obsahoval 98,14% hemihydrátu a pouze 1,86% zbytkového sádrovce. Vzhledem k uvedenému složení a zároveň vzhledem k jeho technologickým vlastnostem, které byly srovnatelné s komerčně vyráběnou stavební sádro, lze konstatovat, že poloprovozně vyrobený produkt z chemosádrovce Pregips představuje stavební sádro dobré kvality.

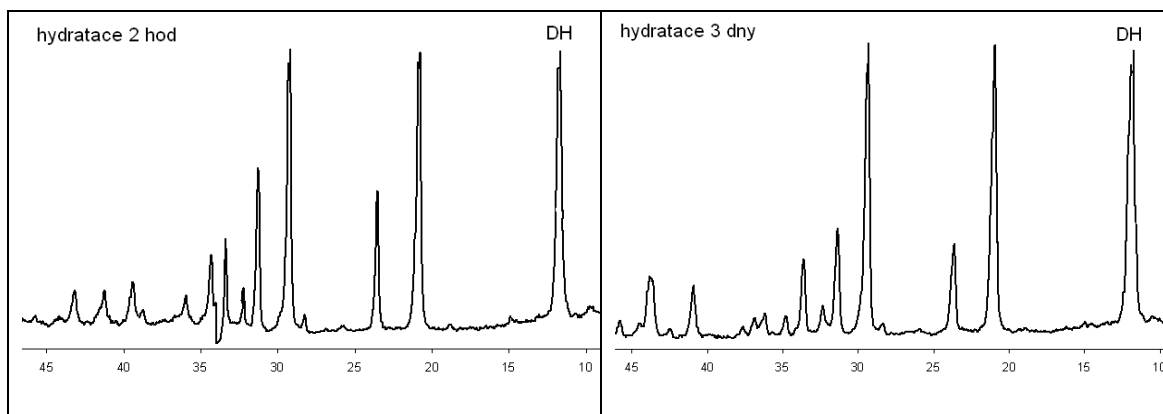
5.2.2 Modifikace vlastností beta sádry

5.2.2.1 Plastifikátor Sika

Výsledky technologických zkoušek vzorků sáder s odstupňovanou dávkou práškového plastifikátoru Sika uvádí tab. 6. Rentgenogram hydratovaného vzorku je patrný na obr. 18.

Tab.6: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Sika

Sledovaná vlastnost	obsah plastifikátoru Sika [%]			
	0	0,5	1	3
Tuhnutí:		retardace		
Normální konzistence [-]	1,05	0,80	0,75	0,60
Počátek tuhnutí [m:s]	5:08	5:04	5:14	6:25
Doba tuhnutí [m:s]	7:10	8:37	7:28	8:27
Pevnosti:				
V tlaku [MPa]				
2 hodiny	2,2	0,7	0,9	0,5
3 dny	1,1	1,9	0,8	0,8
7 dnů	1,4	2,1	0,9	0,6
14 dnů	1,1	3,2	1,2	1,0
28 dnů	3,6	4,8	1,9	1,1
V tahu za ohybu [MPa]				
2 hodiny	1,6	0,7	0,9	0,5
3 dny	1,0	1,3	0,7	0,6
7 dnů	0,6	1,2	0,6	0,4
14 dnů	0,7	1,7	1,2	1,0
28 dnů	1,9	2,5	1,1	0,8
Objemová hmotnost [kg.m⁻³]				
2 hodiny	1620	1500	1530	1600
3 dny	1310	1420	1430	1300
7 dnů	1180	1100	1040	1210
14 dnů	960	875	990	1070
28 dnů	830	850	950	1070



Obr.18: Rentgenogramy sádrové pasty modifikované plastifikátorem Sika v dávce 3%

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat:

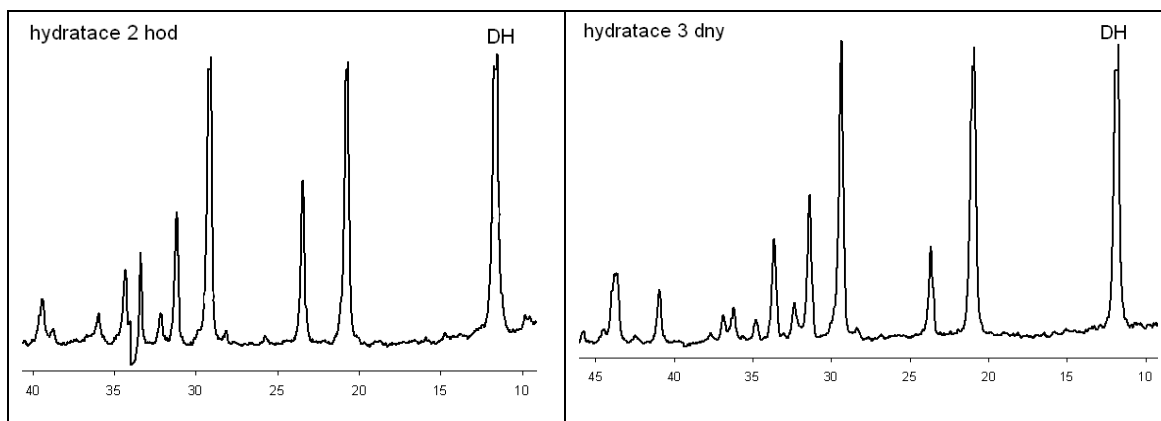
- velmi progresivního ztekucení bylo dosaženo při dávce tohoto plastifikátoru ve výši 0,5%. Následné zvyšování koncentrace sice přineslo i další ztekucení, ale účinnost tohoto procesu se postupně snižovala
- nejlepší pevnosti byly dosaženy při koncentraci plastifikátoru 0,5%. Jak patrně z průběhu rentgenogramu hydratovaných past, vyšší dávka plastifikátoru způsobovala retardaci hydratačního procesu, jejímž důsledkem byl pokles pevností
- objemové hmotnosti sádrových past během expozice v laboratorním prostředí vlivem vysychání postupně klesaly. Z hlediska matematického popisu vykazovala závislost objemových hmotností na době uložení exponenciální charakter, přičemž hodnota, stanovená pro dobu uložení 28 dnů, se nacházela již na asymptotické části exponenciály, a lze ji proto považovat za objemovou hmotnost vzorku s rovnovážnou, neboli konečnou vlhkostí. Vzhledem k tomu, že po 28 dnech uložení byla prokázána úplná přeměna hemihydrátu na dihydrát a současně vzorek vykazoval rovnovážnou hodnotu vlhkosti, lze predikovat, že i pevnosti vzorků po době uložení 28 dnů v laboratorním prostředí lze považovat za prakticky konečné.

5.2.2.2 Plastifikátor Melment F10

Technologické vlastnosti vzorků, modifikovaných práškovým plastifikátorem Melment F10, jsou uvedeny v tab. 7, rentgenogramy modifikované sádrové pasty, sledovány po 2 hodinách a 3 dnech uložení v laboratorním prostředí, jsou patrné na obr. 19.

Tab.7: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Mement F10

Sledovaná vlastnost	obsah plastifikátoru Melment [%]			
	0	0,5	1	3
Tuhnutí:				
Normální konzistence [-]	1,05	0,80	0,70	0,50
Počátek tuhnutí [m:s]	5:08	4:02	3:49	3:06
Doba tuhnutí [m:s]	7:10	6:34	5:34	5:04
Pevnosti:				
V tlaku [MPa]				
2 hodiny	2,2	1,7	1,6	1,5
3 dny	1,1	1,6	1,7	1,5
7 dnů	1,4	1,7	1,7	1,6
14 dnů	1,1	0,5	0,5	0,6
28 dnů	3,6	5,8	4,1	5,2
V tahu za ohybu [MPa]				
2 hodiny	1,6	1,1	1,1	0,9
3 dny	1,0	1,1	1,2	1,1
7 dnů	0,6	1,1	1,0	1,0
14 dnů	0,7	0,4	0,4	0,3
28 dnů	1,9	2,3	2	2,2
Objemová hmotnost [kg.m⁻³]				
2 hodiny	1620	1530	1510	1480
3 dny	1310	1420	1390	1380
7 dnů	1180	1260	1290	1230
14 dnů	960	990	1000	1120
28 dnů	830	920	890	1020



Obr.19: Rentgenogramy sádrové pasty modifikované plastifikátorem Melment F10 v dávce 3%.

Na základě dosažených výsledků je možno říci:

- stejně jako u plastifikátoru Sika bylo dosaženo podstatného ztekucení sádrové kaše již při dávce plastifikátoru Melment F10 ve výši 0,5%. Zvyšování dávky vedlo k dalšímu ztekucovacímu efektu, ale tento již nebyl tak výrazný. Podle srovnání dosažených hodnot normální konzistence ztekucoval plastifikátor Melment F10 sádrovou kaši, a to zejména ve vyšších koncentracích, poněkud lépe než plastifikátor Sika
- vzhledem k tomu, že retardační efekt plastifikátoru Melment F10 byl méně výrazný než předchozího plastifikátoru Sika, dosahovaly Melmentem F10 modifikované sádrové pasty i poněkud lepších pevností
- hodnoty objemové hmotnosti sádrových past, exponovaných v laboratorním prostředí, stejně jako v předchozím případě vlivem jejich vysychání exponenciálně klesaly. Současně bylo pozorováno, že s vyšším stupněm modifikace plastifikátorem, a tudíž nižším vodním součinitelem, vykazovaly sádrové pasty vždy vyšší konečné hodnoty objemových hmotností

5.2.2.3 Plastifikátor Chryso Fluid GT

Kapalný plastifikátor Chryso Fluid GT byl pro zjednodušení dávkován ve stejné řadě koncentrací 0.0, 0.5, 1.0 a 3.0% jako práškové plastifikátory. Pro doplnění vypovídací schopnosti o účinnosti tohoto plastifikátoru pak byla koncentrace použité kapalné dávky přepočtena na koncentraci v ní obsažené sušiny. Jelikož plastifikátor Chryso Fluid GT obsahuje 30% účinné látky, lze zvoleným koncentracím kapalné řady přiřadit následující hodnoty koncentrací v přepočtu na sušinu:

0,5% kapalné přísady = 0,15% sušiny

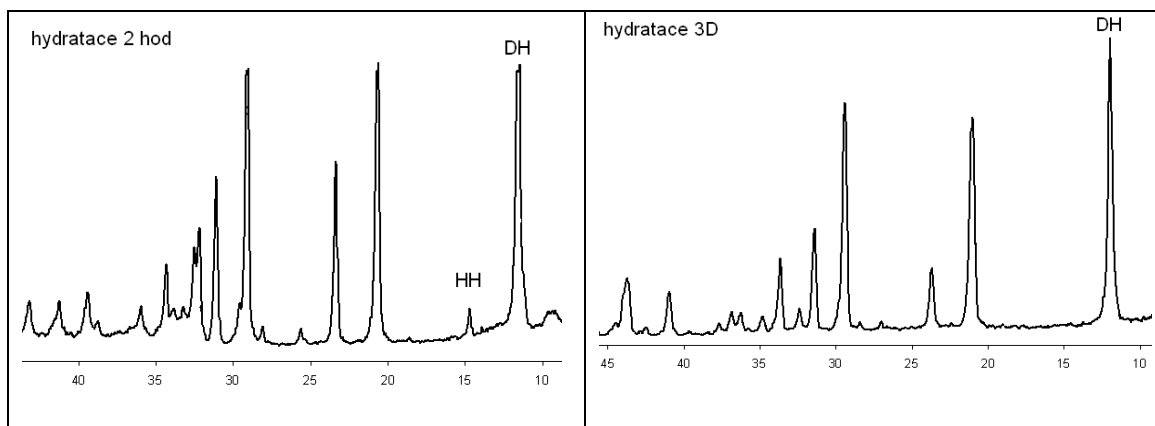
1,0% kapalné přísady = 0,30% sušiny

3.0% kapalné přísady = 0,90% sušiny

Shrnutí výsledků technologických vlastností vzorků modifikovaných plastifikátorem Chryso Fluid GT je uvedeno v tab. 8, průběh hydratačního procesu v době uložení 2 hodiny a 3 dny v laboratorním prostředí je dokumentován rentgenogramy na obr. 20.

Tab.8: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Chryso Fluid GT

Sledovaná vlastnost	obsah plastifikátoru Chryso Fluid GT [%]			
	0	0,5	1	3
Tuhnutí:				
Normální konzistence [-]	1,05	0,85	0,80	0,65
Počátek tuhnutí [m:s]	5:08	4:07	4:30	3:08
Doba tuhnutí [m:s]	7:10	5:32	6:17	4:11
Pevnosti:				
V tlaku [MPa]				
2 hodiny	2,2	0,6	0,9	0,8
3 dny	1,1	0,5	0,8	0,8
7 dnů	1,4	0,6	0,7	0,9
14 dnů	1,1	1,0	1,0	2,4
28 dnů	3,6	2,0	2,4	2,6
V tahu za ohybu [MPa]				
2 hodiny	1,6	0,6	0,9	1,0
3 dny	1,0	0,6	1,0	1,1
7 dnů	0,6	0,7	0,8	1,5
14 dnů	0,7	1,0	1,0	2,4
28 dnů	1,9	1,4	1,4	2,6
Objemová hmotnost [kg.m⁻³]				
2 hodiny	1620	1460	1540	1530
3 dny	1310	1300	1390	1340
7 dnů	1180	1130	1120	1160
14 dnů	960	920	980	1040
28 dnů	830	890	910	1060



Obr.20: Rentgenogramy sádrové pasty modifikované plastifikátorem Chryso Fluid GT v dávce 3%

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat:

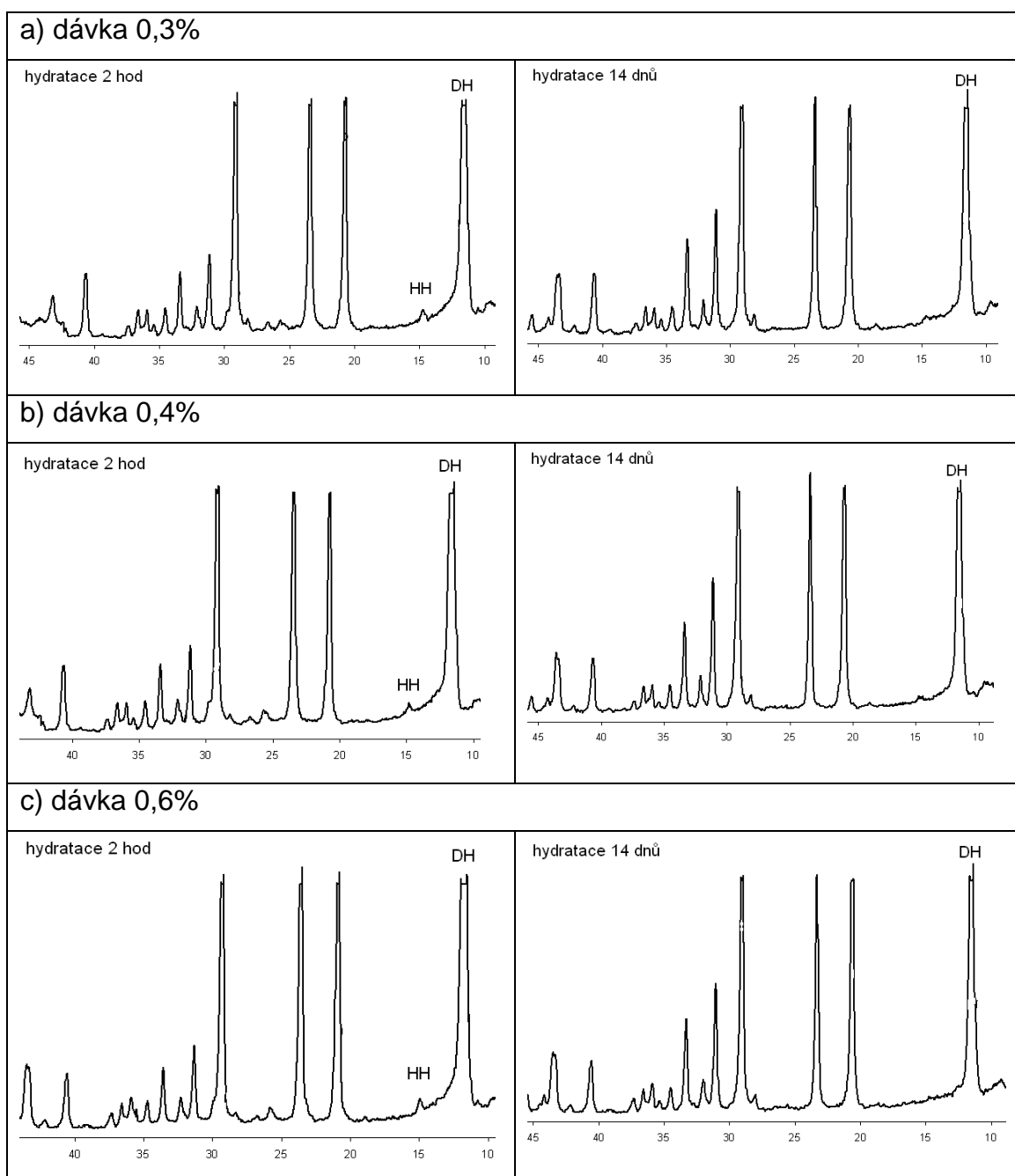
- po přepočtu na koncentraci sušiny lze říci, že plastifikační efekt této přísady je přibližně stejný či dokonce nepatrně lepší než dvou předchozích plastifikátorů. Obdobně jako v předchozím vykazala tato přísada maximální ztekucovací účinek při dávkování cca 0,5% sušiny, účinek při dalším zvýšení koncentrace již nebyl tak výrazný
- vzhledem k silnému retardačnímu působení této přísady byl rozdíl v pevnostech vzorků modifikovaných a referenčního nemodifikovaného prakticky neprůkazný. Spíše se jeví, že pevnosti modifikovaných vzorků ve vztahu k pevnostem vzorku referenčního nepatrně poklesly
- vývoj objemových hmotností byl stejný jako u předchozích vzorků

5.2.2.4 Plastifikátor Biotech

Při modifikaci sádry plastifikátorem Biotech bylo dávkování změněno na doporučení výrobce na řadu koncentrací 0.0, 0.3, 0.4 a 0.5%. Přehled technologických vlastností vzorků sáder, modifikovaných práškovým plastifikátorem Biotech, je uveden v tab. 9, sledování průběhu jejich hydratačního procesu je dokumentováno rentgenogramy na obr. 21.

Tab.9: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Biotech

Sledovaná vlastnost	obsah plastifikátoru Biotech [%]			
	0	0,5	1	3
Tuhnutí:				
Normální konzistence [-]	1,05	0,70	0,65	0,50
Počátek tuhnutí [m:s]	5:08	6:54	6:47	6:38
Doba tuhnutí [m:s]	7:10	9:12	8:59	8:47
Pevnosti:				
V tlaku [MPa]				
2 hodiny	2,2	0,7	0,3	0,2
3 dny	1,1	1,7	2,0	2,4
7 dnů	1,4	3,0	3,1	3,3
14 dnů	1,1	3,1	3,5	5,0
28 dnů	3,6	4,6	6,0	5,5
V tahu za ohybu [MPa]				
2 hodiny	1,6	0,7	0,3	0,2
3 dny	1,0	1,1	1,4	1,5
7 dnů	0,6	1,7	2,0	2,4
14 dnů	0,7	2,0	2,1	2,5
28 dnů	1,9	2,7	2,9	2,7
Objemová hmotnost [kg.m⁻³]				
2 hodiny	1615	1470	1460	1460
3 dny	1305	1110	1170	1180
7 dnů	1175	990	1140	1125
14 dnů	955	980	1025	1115
28 dnů	830	975	1025	1040



Obr.21: Rentgenogramy sádrových past modifikovaných plastifikátorem Biotech

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat:

- plastifikátor Biotech vykázal ve srovnání s předešlými nejlepší ztekucovací efekt. Již při dávce 0,3% bylo dosaženo lepšího ztekucení než u předchozích plastifikátorů dávkovaných v koncentraci 0,5%, při dávce 0,6% pak ve srovnání s referenčním vzorkem poklesl vodní součinitel na polovinu

- vlivem nejvyššího dosaženého stupně ztekucení vykazaly sádrové pasty, modifikované plastifikátorem Biotech, nejvyšší hodnoty dosahovaných pevností, a to i přes určitý retardační účinek této látky
- pokles objemových hmotností s dobou uložení v laboratorním prostředí byl exponenciálního rázu stejně jako v předchozích případech

5.2.2.5 Plastifikátor Stachement 6358

Plastifikátor Stachement 6358 byl, stejně jako další následující přísady, z důvodu časového omezení zkoušen již jen ve dvou koncentracích, a to 0,5 a 1%. Přehled o dosažených technologických vlastnostech takto modifikovaných sáder uvádí tab. 10, průběh hydratačního procesu je patrný z rentgenogramů na obr. 22.

Vzhledem k tomu, že plastifikátor Stachement 6358 je tekutou přísadou o koncentraci sušiny ve výši 25%, platí pro přepočet v něm obsažené účinné látky podobné převody jako u plastifikátoru Chryso Fluid GT:

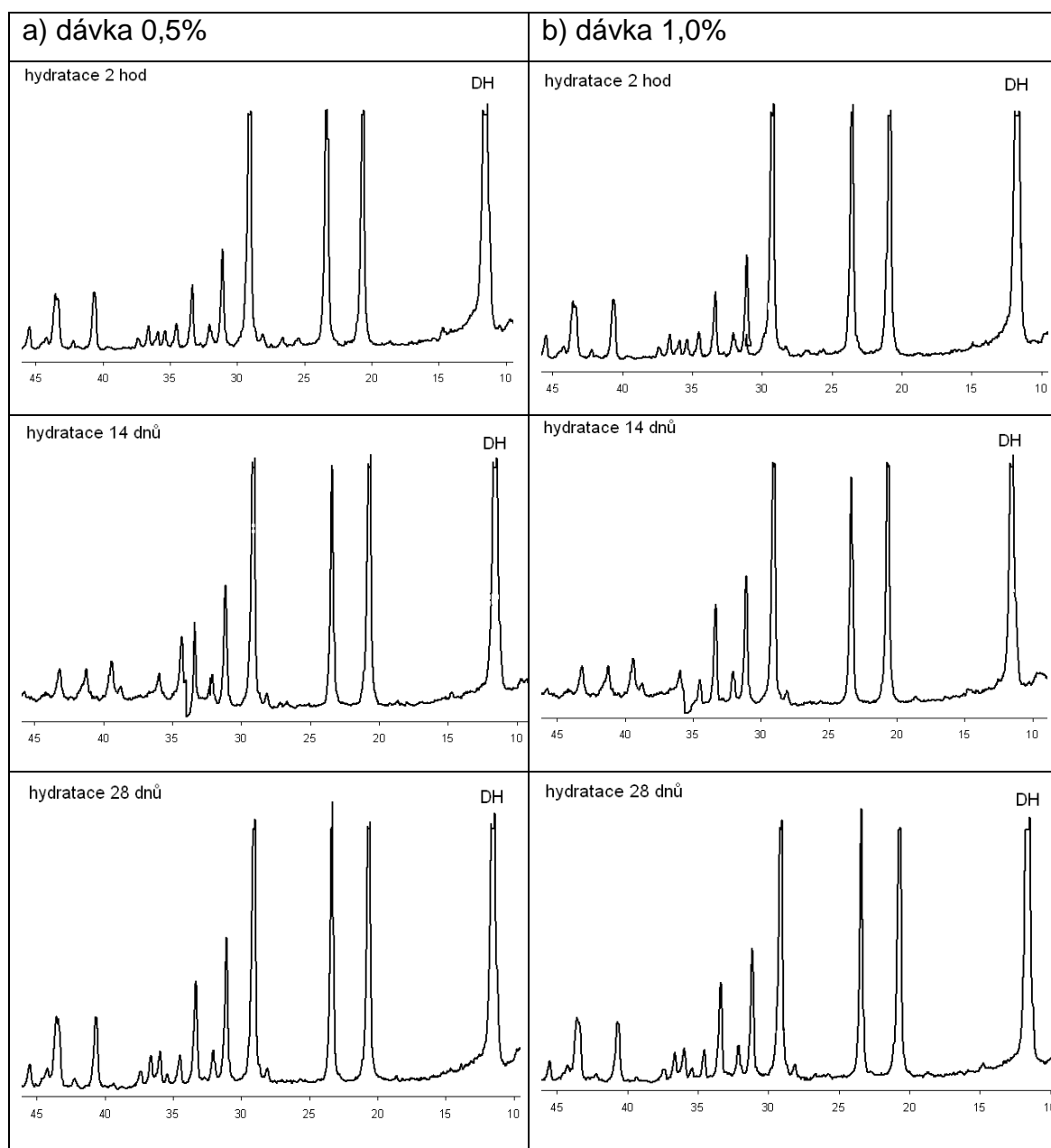
0,5% kapalné přísady = 0,125% sušiny

1,0% kapalné přísady = 0,25% sušiny

3.0% kapalné přísady = 0,75% sušiny

Tab.10: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Stachement 6358

Sledovaná vlastnost	obsah plastifikátoru Stachement 6358 [%]		
	0	0,5	1
Tuhnutí:			
Normální konzistence [-]	1,05	0,60	0,50
Počátek tuhnutí [m:s]	5:08	5:16	4:55
Doba tuhnutí [m:s]	7:10	6:15	5:43
Pevnosti:			
V tlaku [MPa]			
2 hodiny	2,2	2,0	2,2
3 dny	1,1	2,1	3,4
7 dnů	1,4	4,0	4,6
14 dnů	1,1	4,8	4,7
28 dnů	3,6	5,3	7,4
V tahu za ohybu [MPa]			
2 hodiny	1,6	1,5	1,5
3 dny	1,0	1,6	2,2
7 dnů	0,6	2,3	2,4
14 dnů	0,7	2,5	2,5
28 dnů	1,9	2,8	3,6
Objemová hmotnost [kg.m⁻³]			
2 hodiny	1620	1540	1570
3 dny	1310	1290	1340
7 dnů	1180	1020	1140
14 dnů	960	1010	1130
28 dnů	830	1000	1100



Obr.22: Rentgenogramy sádrových past modifikovaných plastifikátorem Stachement 6358

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat:

- po přepočtu na obsah sušiny lze říci, že plastifikátor Stachement 6358 projevil nejlepší ztekucovací efekt z dosud vyhodnocovaných přísad. Již v dávce 0,3% sušiny bylo ztekucení natolik účinné, že vodní součinitel poklesl až na poloviční hodnotu vodního součinitele nemodifikované sádry
- i přes nepatrný retardační efekt byly dosahované pevnosti vzorků modifikovaných sádrových past velmi uspokojivé

- vývoj objemových hmotností byl obdobný jako u předchozích vzorků

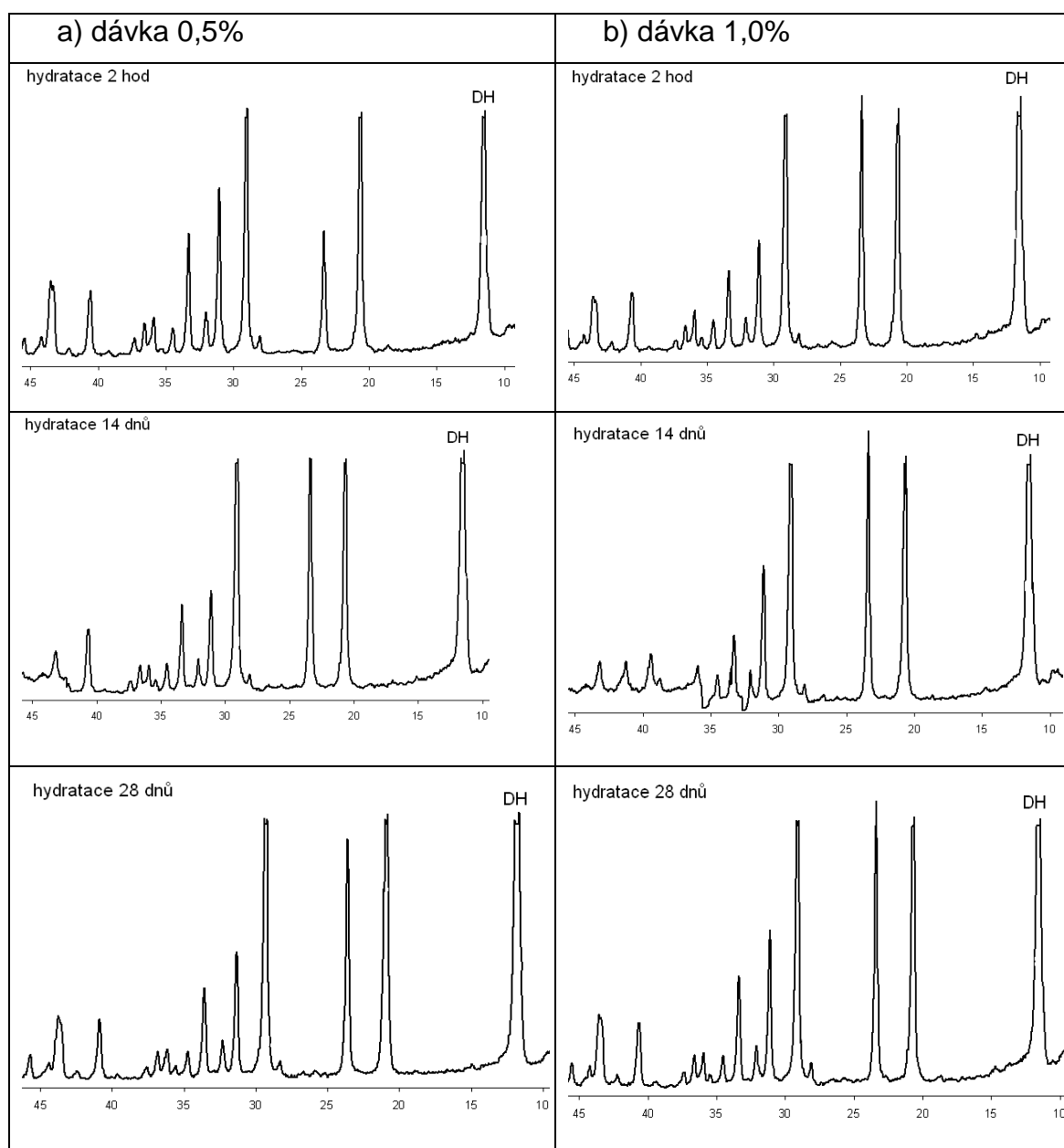
5.2.2.6 Plastifikátor Sika ViscoCrete 1035

Stejně jako v předchozím případě byl tento plastifikátor zkoušen v kapalně formě s obsahem sušiny okolo 30%, proto pro použité dávkování platí stejné převodní vztahy na obsah účinné látky jak výše uvedeno.

Výsledky zkoušek technologických vlastností uvádí tab. 11, průběh hydratačního procesu je demonstrován rentgenogramy na obr. 23.

Tab.11: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Sika ViscoCrete 1035

Sledovaná vlastnost	obsah plastifikátoru Sika ViscoCrete [%]		
	0	0,5	1
Tuhnutí:			
Normální konzistence [-]	1,05	0,70	0,60
Počátek tuhnutí [m:s]	5:08	5:32	5:17
Doba tuhnutí [m:s]	7:10	6:34	6:08
Pevnosti:			
V tlaku [MPa]			
2 hodiny	2,2	1,5	2,0
3 dny	1,1	2,0	2,6
7 dnů	1,4	2,2	2,8
14 dnů	1,1	2,3	2,9
28 dnů	3,6	5,4	7,3
V tahu za ohybu [MPa]			
2 hodiny	1,6	1,2	1,4
3 dny	1,0	1,4	1,7
7 dnů	0,6	1,5	1,8
14 dnů	0,7	1,6	1,9
28 dnů	1,9	2,6	3,0
Objemová hmotnost [kg.m⁻³]			
2 hodiny	1620	1490	1520
3 dny	1310	1300	1320
7 dnů	1180	1090	1200
14 dnů	960	1040	1190
28 dnů	830	980	1080



Obr.23: Rentgenogramy sádrových past modifikovaných plastifikátorem Sika ViscoCrete 1035

Na základě vyhodnocení technologických vlastností a průběhu hydratačního procesu lze konstatovat:

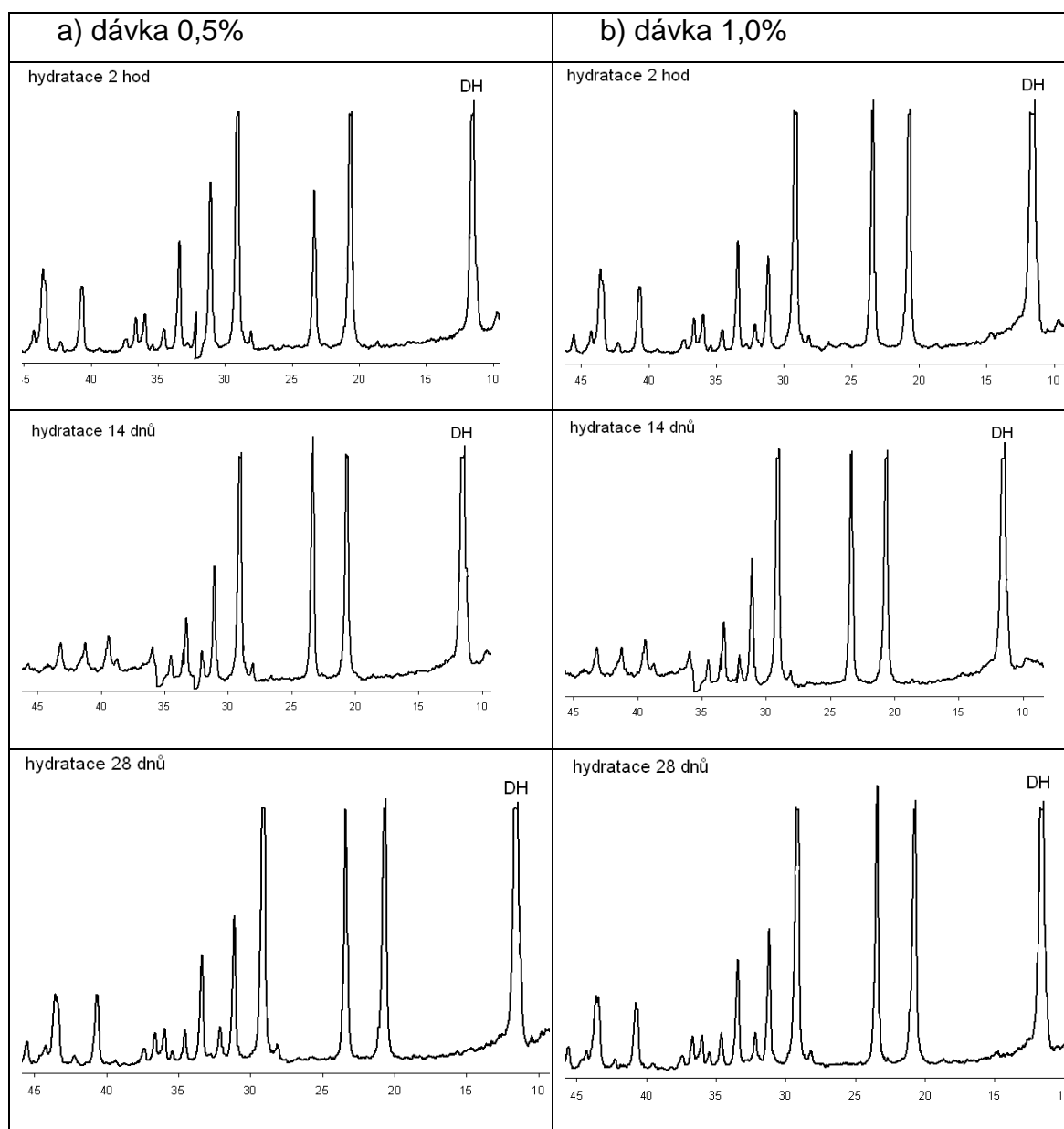
- přísada Sika ViscoCrete 1035 se projevila jako velmi účinný plastifikátor, jen o málo efektivnější než předchozí přísada Stachement 6358
- vzhledem k tomu, že tato přísada vykazala poměrně silný retardační účinek, který zásadním způsobem ovlivňuje velikost dosahovaných pevností, byly naměřené pevnosti jen nepatrně vyšší či dokonce jen srovnatelné s pevnostmi referenční nemodifikované sádry
- průběh objemových hmotností v závislosti na vodním součiniteli sádrové pasty i v závislosti na době uložení v laboratorním prostředí byl obdobný jako v předchozích případech

5.2.2.7 Plastifikátor Sikament Multimix-100

Technologické vlastnosti vzorků, modifikovaných kapalnou přísadou Sikament Multimix-100, uvádí tab. 12. Vzhledem k obsahu sušiny v této přísadě, která činí 30%, platí pro dávkování účinné látky stejné převodní vztahy jak výše uvedeno. Průběh hydratačního procesu sádrových past je dokumentován rentgenogramy na obr. 24.

Tab.12: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Sikament Multimix

Sledovaná vlastnost	obsah plastifikátoru Sikament Multimix [%]		
	0	0,5	1
Tuhnutí:			
Normální konzistence [-]	1,05	0,75	0,70
Počátek tuhnutí [m:s]	5:08	6:32	6:21
Doba tuhnutí [m:s]	7:10	7:27	7:18
Pevnosti:			
V tlaku [MPa]			
2 hodiny	2,2	0,9	1,2
3 dny	1,1	1,4	1,5
7 dnů	1,4	1,8	2,7
14 dnů	1,1	2,3	3,3
28 dnů	3,6	4,5	6,0
V tahu za ohybu [MPa]			
2 hodiny	1,6	0,6	0,7
3 dny	1,0	1,1	1,2
7 dnů	0,6	1,2	1,6
14 dnů	0,7	1,5	1,7
28 dnů	1,9	2,5	2,6
Objemová hmotnost [kg.m⁻³]			
2 hodiny	1620	1460	1480
3 dny	1310	1280	1350
7 dnů	1180	1040	1090
14 dnů	960	1000	950
28 dnů	830	1000	900



Obr.24: Rentgenogramy sádrových past modifikovaných plastifikátorem Sikament Multimix-100

Na základě vyhodnocení dosažených výsledků lze konstatovat:

- ztekucovací účinek této přísady je po přepočtu na obsah sušiny srovnatelný s účinkem plastifikátoru Biotech, dávkovaného v téže koncentraci
- poměrně podobné jsou i dosahované pevnosti, jejich nepatrně lepší průběh byl zaznamenán u plastifikátoru Biotech

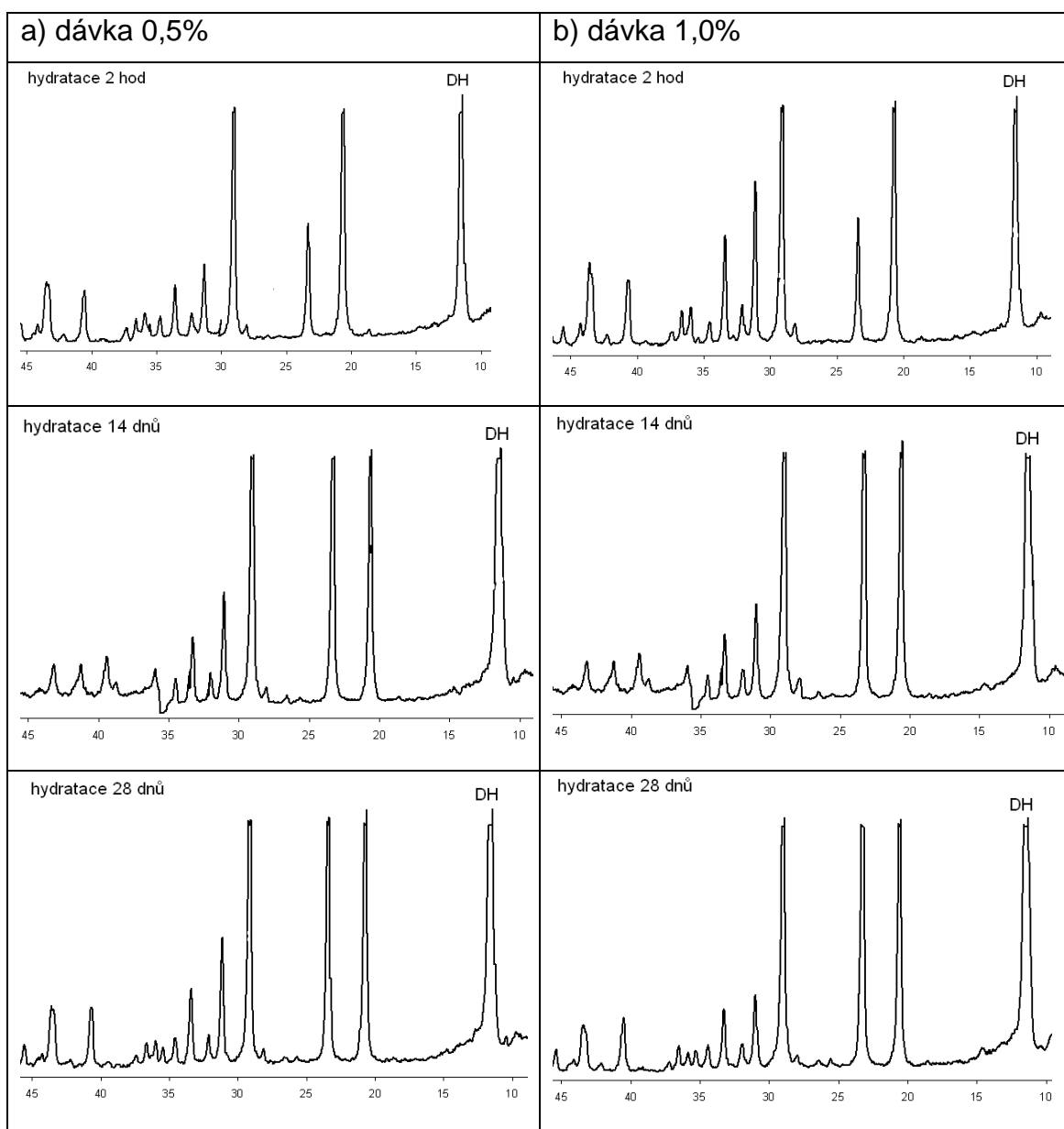
- vývoj objemových hmotností je z hlediska dávky plastifikační přísady, resp. hodnoty vodního součinitele, i z hlediska doby uložení obdobný jako u předchozích vzorků

5.2.2.8 Plastifikátor Stacheplast

Technologické vlastnosti vzorků, modifikovaných kapalnou přísadou Stacheplast, uvádí tab. 13. Vzhledem k obsahu sušiny v této přísadě, která činí 30%, platí pro dávkování účinné látky stejné převodní vztahy jak výše uvedeno. Průběh hydratačního procesu sádrových past je dokumentován rentgenogramy na obr. 25.

Tab.13: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Stacheplast

Sledovaná vlastnost	obsah plastifikátoru Stacheplast [%]		
	0	0,5	1
Tuhnutí:			
Normální konzistence [-]	1,05	0,80	0,65
Počátek tuhnutí [m:s]	5:08	6:54	6:13
Doba tuhnutí [m:s]	7:10	7:22	6:59
Pevnosti:			
V tlaku [MPa]			
2 hodiny	2,2	1,0	0,8
3 dny	1,1	1,2	0,8
7 dnů	1,4	1,4	0,9
14 dnů	1,1	2,2	1,1
28 dnů	3,6	3,6	2,5
V tahu za ohybu [MPa]			
2 hodiny	1,6	1,1	0,7
3 dny	1,0	1,1	0,7
7 dnů	0,6	1,2	0,9
14 dnů	0,7	1,2	0,9
28 dnů	1,9	2,2	1,6
Objemová hmotnost [kg.m⁻³]			
2 hodiny	1620	1440	1500
3 dny	1310	1280	1310
7 dnů	1180	1120	1100
14 dnů	960	1030	1030
28 dnů	830	1000	990



Obr.25: Rentgenogramy sádrových past modifikovaných plastifikátorem Stacheplast

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat:

- plastifikační efekt této přísady byl velmi dobrý, ale vlivem poměrně silného retardačního účinku byly dosahované pevnosti dokonce horší než u referenčního nemodifikovaného vzorku
- vývoj objemových hmotností je obdobný jako u předchozích vzorků

6. DISKUZE VÝSLEDKŮ

Na základě vyhodnocení výsledků, dosažených během řešení experimentální části diplomové práce, lze shrnout:

- uskutečněnou rešerší potenciálních zdrojů sádrovce na výrobu síranových pojiv bylo zjištěno, že na území České republiky existují v současné době poměrně bohaté zdroje druhotných sádrovců. Jde jednak o energosádrovce, které mimo elektráren Počerady a Mělník nejsou pro výrobu síranových pojiv využívány, a dále o chemosádrovce ze závodu Precheza Přerov a z deponií Fosfy Poštorná. Všechny uvedené zdroje se vyznačují vysokou čistotou, chemosádrovce navíc bílou barvou, proto výroba síranových pojiv na jejich bázi je po stránce fyzikálně chemické zcela reálná
- vzhledem k tomu, že u energosádrovců nejsou většinou jednoznačně vyjasněny strategické a obchodní záměry producentů a vzhledem k tomu, že těžba a následné úpravnictví chemosádrovce z deponií Fosfy je technologicky i finančně poměrně náročná, byl jako nejvhodnější zdroj suroviny pro výrobu síranových pojiv vyhodnocen chemosádrovec z Prechezy Přerov, dodávaný pod označením Pregips za velmi příznivou cenu 110 Kč/t
- chemosádrovec Pregips, vybraný jako nejvhodnější zdroj suroviny pro výrobu síranových pojiv, byl po realizaci vstupních analýz podroben nejprve laboratornímu výpalu a následně poloprovozní kalcinaci v rotační sušárně, primárně určené pro sušení a třídění písků
- laboratorní výpaly byly uskutečněny dvěma rozdílnými teplotními režimy. První z nich, determinovaný teplotou 150°C, odpovídal běžnému postupu při laboratorní výpalu beta sádry, druhý, determinovaný teplotou 105°C, modeloval teplotní poměry na chladném konci rotační sušárny. Tímto postupem bylo prokázáno, že i za nízké kalcinační teploty dojde k úplné přeměně dihydrátu na hemihydrát v reálném provozním čase, odpovídajícím cca 5 hodinám. Stanovené technologické vlastnosti laboratorně i poloprovozně vyrobených sáder byly ve srovnání s komerčně vyráběnou beta sádrou velmi dobré

- poloprovozní výpal byl z důvodu nedostatečné délky rotační sušárny realizován jejím dvojnásobným průchodem pecním tělesem. Během prvního průchodu došlo z fyzikálně chemického hlediska k vysušení sádrovce a event. předkalcinaci, během druhého průchodu byla surovina dokonale kalcinována, obsah zbytkového sádrovce činil pouze 1,86%. Z měření spotřeby plynu (propan butan) a elektrické energie bylo dále vypočteno, že tepelně energetické náklady na výrobu beta sádry se pohybují kolem 300 Kč/t. Proces výroby beta sádry byl prakticky bezprašný, neboť doprava vysušené suroviny mezi prvním a druhým průchodem rotační sušárnou byla pneumatická
- poslední etapa experimentálních prací byla zaměřena na studii potenciálního zvýšení jakosti vyráběné beta sádry, zvláště na zvýšení jejích pevností. V předchozích pracích bylo zjištěno, že pevnosti sáder závisejí téměř lineárně na množství záměsové vody, a proto byly experimentální práce orientovány na odzkoušení možných ztekucovacích přísad. Jelikož se i přes rozsáhlý průzkum nepodařilo vyhledat žádného výrobce či dodavatele ztekucovacích přísad, určených přímo pro ztekucení síranových pojiv, byla v práci odzkoušena řada plastifikátorů na nejrůznějších chemických bázích, primárně určených pro ztekucení malt a betonů z portlandského cementu
- na základě vyhodnocení ztekucovacího efektu lze konstatovat, že nejúčinnější práškovou přísadou byl plastifikátor Biotech. Při jeho dávce ve výši 0,4% se vodní součinitel snížil na cca 65%, a při dávce 0,6% až na 50% hodnoty vodního součinitele nemodifikované sádry. Přitom konečné pevnosti vykázaly hodnoty ve výši 6 MPa při koncentraci plastifikátoru 0,4% a 5,5 MPa při koncentraci plastifikátoru 0,6%. V tomto druhém případě se již projevil retardační efekt, pozorovaný rovněž u celé řady dalších plastifikátorů. Tyto organické látky lze totiž charakterizovat jako povrchově aktivní zpomalovače, působící mechanismem jejich fyzikální adsorpce na povrchu zrn sádry, v jejímž důsledku se zpomaluje transport vody, nutné k jejich hydrataci
- mezi nejúčinnější kapalně přísady náležely komerční plastifikátory Stachement 6358 a Sika ViscoCrete 1035, při jejichž dávkování ve výši

0,5% došlo ke snížení vodního součinitele téměř až na polovinu původní hodnoty vodního součinitele sádry nemodifikované. Současně jejich konečné pevnosti vzrostly z hodnoty 3,6 MPa, stanovené pro sádro nemodifikovanou, na dvojnásobnou hodnotu 7,3 MPa (Sika ViscoCrete 1035), resp. 7,4 MPa (Stachement 6358), což současně potvrzuje teorii o lineární závislosti pevností sádrových pojiv na jejich vodním součiniteli. Tato teorie však platí pouze v případě, kdy nenastane žádné další ovlivnění průběhu tuhnutí, které se především týká nežádoucího retardačního efektu, viz výše.

ZÁVĚR

V souladu se zadáním byla v diplomové práci řešena problematika přípravy vysokohodnotných síranových pojiv na bázi odpadních sádrovců.

Lze konstatovat, že v současnosti nejvhodnějším zdrojem pro výrobu sádrových pojiv je na území Moravy chemický sádrovec Pregips, produkováný společností Precheza Přerov. Tato surovina se vyznačuje vysokou čistotou, bílou barvou a je i přijatelná z ekonomického hlediska. Jejím největším nedostatkem je poměrně vysoká vlhkost, která za nepříznivých okolností může způsobit určité technologické potíže, spočívající v lepení suroviny na povrchy dopravních cest. Tento negativní aspekt se však týká všech nevysušených zdrojů druhotných energosádrovců i chemosádrovce. Dále lze konstatovat, že výroba beta sádry na bázi chemosádrovce Pregips je zcela reálná i na zařízení, které je primárně určeno pouze k sušení písků. Kvalita vzniklé sádry je velmi dobrá, a jak bylo prokázáno, lze ji ještě podstatně zlepšit použitím plastifikační přísady. Z provozního hlediska se v současné době jako nejvhodnější přísada jeví práškový plastifikátor Biotech, který je vzhledem k ostatním přísadám velmi levný, účinný již ve velmi nízkých koncentracích a lze jej homogenizovat přímo s vyrobenou beta sádrrou.

Pro další řešení v této oblasti se doporučuje zaměřit se na vyhledání a popis mechanismu působení jednotlivých ztekucovacích přísad tak, aby bylo možno i na teoretické úrovni predikovat potenciální látky, které budou účinnými ztekucovači sádry.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VAVŘÍN, F., *Maltoviny*, 3. vydání. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1987, 253 stran.
- [2] SCHULZE W., Fischer W., Lach V., Tetel P., *Necementové malty a betony*, SNTL, Praha, 1990
- [3] FRIDRICHOVÁ, M.; *Maltoviny II přednášky 2010*
- [4] PŘICHYSTALOVÁ, E.; *Netradiční stavební pojiva: diplomová práce*. Brno, 2010. 89 s. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců.
- [5] ČSN 72 2301 *Stavební sádra rychle tuhnoucí*
- [6] FRIDRICHOVÁ, M.; *Maltoviny*. Brno, 2006. Vysoké učení technické v Brně. Ústav technologie stavebních hmot a dílců.
- [7] PUTTNER, J.; *Využití chloridových cementářských odprašků k přípravě dehydratačních roztoků pro výrobu alfa sádry*. Brno, 2011, 96 s. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců.
- [8] NYČ, M.; *Sádrokarton, stavby a rekonstrukce*. Praha: Grada Publishing
- [9] *Technologie, stavební stěny*. Učební texty oboru montér suchých staveb. Cech sádrokartonářů České republiky.
- [10] Šauman, Z.; *Maltoviny I*. VUT v Brně, 1993.
- [11] DVOŘÁK, K.; FRIDRICHOVÁ, M.; PUTTNER, J., Optimalizace výroby alfa-sádry ve směsném roztoku solí, příspěvek na konferenci *Maltoviny 2010*, ISBN 978-80-214-4204-7, VUT Brno, Brno, 2010

SEZNAM TABULEK

Tab.1: Požadované fyzikální a chemické vlastnosti rychle tuhnoucí sádry

Tab.2: Mokrý vápencová vypírka v ČR

Tab.3: Chemické složení a fyzikálně chemické vlastnosti sádrovce Pregips

Tab.4: Technologické vlastnosti laboratorně dehydratované sádry

Tab.5: Technologické vlastnosti poloprovozně vyrobené sádry

Tab.6: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Sika

Tab.7: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Melment F10

Tab.8: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Chryso Fluid GT

Tab.9: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Biotech

Tab.10: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Stachecement 6358

Tab.11: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Sika ViscoCrete 1035

Tab.12: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Sikament Multimix-100

Tab.13: Technologické vlastnosti sádry modifikované plastifikátorem Stacheplast

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1: Přírodní sádrovec

Obr.2: Schéma výroby energosádrovce mokrou cestou

Obr.3: Výroba chemosádrovce v Precheze Přerov

Obr.4: Výpal sádry ve vařáku

Obr.5: Sušící mlýn systému Claudius-Peters

Obr.6: Rotačkový kalcinátor firmy Bütner-Schilde-Haas

Obr.7: Rošt A.N. Knaufa

Obr.8: Sušící mlýn

Obr.9: Autokláv

Obr.10: Průběh hydratace ve vodní suspenzi

Obr.11: Vicatův přístroj

Obr.12: Zařízení na zjišťování kaše normální konzistence

Obr.13: Rentgenogram sádrovce Pregips

Obr.14: Sádrovec dehydratovaný teplotním režimem 150°C

Obr.15: Sádrovec dehydrovaný teplotním režimem 105 °C

Obr. 16: Rotační sušárna firmy Rosomac a) celkový pohled b) schéma sušárny

Obr.17: Fázové složení produktu a) po prvním průchodu b) po druhém průchodu sušárnou

Obr.18: Rentgenogramy sádrové pasty modifikované plastifikátorem SIKA v dávce 3%

Obr.19: Rentgenogramy sádrové pasty modifikované plastifikátorem Mement F10 v dávce 3%

Obr.20: Rentgenogramy sádrové pasty modifikované plastifikátorem Chryso Fluid GT v dávce 3%

Obr.21: Rentgenogramy sádrových past modifikovaných plastifikátorem Biotech Lignosulfonate

Obr.22: Rentgenogramy sádrových past modifikovaných plastifikátorem Stachement 6358

Obr.23: Rentgenogramy sádrových past modifikovaných plastifikátorem Sika ViscoCrete 1035

Obr.24: Rentgenogramy sádrových past modifikovaných plastifikátorem Sikament Multimix

Obr.25: Rentgenogramy sádrových past modifikovaných plastifikátorem Stacheplast